



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

UNIVERZÁLNÍ NÁSTROJ PRO VÝROBU DRŽÁKU

VERSATILE TOOL FOR THE PRODUCTION OF HOLDER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ KUČERA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK LIDMILA, CSc.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Kučera

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Univerzální nástroj pro výrobu držáku

v anglickém jazyce:

Versatile tool for the production of holder

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Součást držák je vyráběna v několika rozměrově odlišných variantách. Jedná se o prostorově tvarované dílce zhotovované z plechu, při jejichž výrobě jsou využívány technologie vystřihování, děrování a ohýbání.

Úkolem bakalářské práce je navrhnout univerzální tvářecí nástroj v němž bude možné vyrábět celý sortiment držáků

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je, s využitím teoretických a technologických poznatků získaných studiem, navrhnout výrobní postup a univerzální tvářecí nástroj pro výrobu rozměrové řady zadaného výlisku.

Práce bude obsahovat rozbor současného stavu, analýzu variantních výrobních postupů s výběrem optimálního řešení. Pro zvolenou technologii bude provedena aktuální literární studie, které bude využito pro návrh a konstrukci univerzálního tvářecího nástroje. Součástí řešení bude i technicko-ekonomické zhodnocení navrženého výrobního postupu.

Seznam odborné literatury:

1. HELLWIG, W. und E. SEMLINGER. Spanlose Fertigung: Stanzen. 5th ed. Braunschweig Wiesbaden: Friedr Vieweg Verlagsgesellschaft mbH, 1994. 289 p. ISBN 3-528-44042-2.
2. FOREJT, Milan. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno: Rekrorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
3. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
4. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
5. ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. Příručka pro lisování za studena. 2. vyd. Praha: SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986.
6. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
7. KOTOUČ, Jiří, et al. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Praha: Vydavatelství CVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 21.11.2011

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

KUČERA Jiří: Univerzální nástroj pro výrobu držáku.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia oboru strojírenská technologie (B3S-K Strojírenství) předkládá návrh technologie výroby součásti z plechu 11 373.1 ve sdruženém nástroji. Na základě literární studie problematiky stříhání a ohýbání bylo navrženo několik variant postupu výroby zadané součásti tak, aby byla vyrobena zcela v jednom nástroji. Navržený nástroj je upnut do výstředníkového lisu LEN 63C firmy TOMA Industries s nominální silou 630 kN. Funkční části jsou vyrobeny z nástrojové oceli 19 573, tepelně zpracované dle výkresové dokumentace.

Klíčová slova: Sdružený postupový nástroj, plošné tváření, stříhání, ohýbání

ABSTRAKT

KUČERA Jiří: Versatile tool for the production of holder.

This project is conceived within the bachelor's degree in engineering technology (B3S-K Engineering) technology by design sheet metal parts 11 373.1 on a combined tool. It is based on the literature studies about cutting and bending has been proposed several variants of the production of specified parts to be produced entirely in a single tool. The proposed tool is clamped in the eccentric press LEN 63C firm TOMA Industries with a nominal force of 630 kN. The functional parts are made of tool steel, 19 573, heat-processed according to drawings.

Key words: Combined follow-on tool, sheet metal forming, cutting, bending

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUČERA Jiří: *Univerzální nástroj pro výrobu držáku*. Brno, 2012. 56 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc. Dostupný z WWW: <ust.fme.vutbr.cz/tvareni/publikace>.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 24. 5. 2012

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Str.

ÚVOD	9
1 VÝBĚR VHODNÉ TECHNOLOGIE VÝROBY	10
1.1 Současný stav řešení	10
1.2 Technologičnost součástí	12
1.3 Vyhodnocení volby výrobní technologie	12
2 TEORETICKÉ PŘEDPOKLADY STŘÍHÁNÍ	13
2.1 Průběh stříhání	13
2.2 Rozbor stavu napjatosti při uzavřeném stříhání	14
2.3 Tvar a kvalita střížné plochy	14
2.4 Střížná síla	15
2.5 Střížná práce	16
2.6 Střížná vůle	17
2.6.1 Výpočet střížné vůle	17
2.6.2 Vliv vůle mezi razníkem a matricí na rozměry výstřížku	17
2.7 Pevnostní výpočty střížníku a střížnic	18
2.8 Technologičnost konstrukce v návrhu výstřížku	18
3 TEORETICKÉ PŘEDPOKLADY OHÝBÁNÍ	22
3.1 Stanovení rozvinuté délky polotovaru	22
3.2 Odpružení při ohýbání	23
3.2.1 Úhlová změna	23
3.2.2 Výpočet velikosti odpružení	23
3.2.3 Eliminace odpružení	25
3.3 Ohybová síla a práce	25
3.4 Porušení materiálu při ohýbání	27
3.5 Minimální a maximální poloměr ohybu	27
3.6 Vůle mezi ohýbací vložkou a ohybníkem	28
3.7 Technologičnost konstrukce ohýbaných součástí	28

4 NÁVRH VLASTNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI.....	29
4.1 Návrh výrobního postupu.....	29
4.1.1 Uspořádání výlisků na pásu – varianta 1	29
4.1.2 Uspořádání výlisků na pásu – varianta 2	31
4.2 Ekonomické využití plechu.....	32
4.2.1 Výpočet ekonomického využití plechu.....	32
4.2.2 Vyhodnocení variant ekonomického využití plechu.....	33
4.3 Výběr nejvhodnější varianty technologického postupu.....	33
4.4 Výpočet střížné síly a práce	34
4.4.1 Výpočet střížné síly	34
4.4.2 Výpočet střížné práce	34
4.5 Výpočet ohybové síly a práce	34
4.5.1 Výpočet ohybové síly.....	34
4.5.2 Výpočet ohybové práce.....	35
4.6 Výpočet velikosti odpružení	35
4.7 Výpočet velikosti střížné vůle.....	35
4.8 Výpočet vůle mezi ohýbací vložkou a ohybníkem.....	35
4.9 Výpočet minimálního poloměru ohybu	35
4.10 Výpočet souřadnic těžiště	36
5 NÁVRH STROJE.....	37
6 NÁVRH SDRUŽENÉHO MODULÁRNÍHO NÁSTROJE.....	38
6.1 Návrh a popis sekční jednotky.....	38
6.2 Návrh a popis zástavby sekčních jednotek	40
6.3 Výpočet rozměrů střížníku a střížnice.....	41
6.4 Návrh rozměrů sruženého nástroje	42
6.5 Vyhodnocení návrhu sestavy střížného nástroje.....	43
7 POSOUZENÍ EKONOMICKÉ VÝHODNOSTI.....	44
7.1 Kalkulace nákladů a určení bodu zvratu	44
7.2 Posouzení ekonomické výhodnosti.....	45
8 ZÁVĚR.....	46

Seznam použité literatury

Seznam použitých symbolů

Seznam příloh

Seznam obrázků a tabulek

ÚVOD

Tvářením kovů rozumíme technologický (výrobní) proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru, příp. vlastností, v důsledku působení vnějších sil. Podstatou tváření je vznik plastických deformací, ke kterým dojde v okamžiku dosažení napětí na mezi kluzu pro daný materiál. Výhodami tváření jsou vysoká produktivita práce, vysoké využití materiálu a velmi dobrá rozměrová přesnost tvářených výrobků. Nevýhodou je vysoká cena strojů a nástrojů a omezení rozměry konečného výrobku.

Jedním z nerozšířenějších je tváření plošné, při kterém převládají deformace ve dvou směrech. Patří sem tažení, ohýbání, stříhání, apod. Plošným tvářením se dosáhne žádaného tvaru součásti (převážně z plechu) bez podstatné změny průřezu nebo tloušťky výchozího materiálu a kde také nedochází ke změně mechanických vlastností.

Díly z plechů jsou vyráběny pomocí lisovacích nástrojů. Hodně rozšířené jsou tzv. postupové nástroje, u kterých se při jednom pracovním kroku proběhne více operací současně.

Tato bakalářská práce popisuje návrh vhodné technologie výroby tvarové součásti z plechu. Práce zahrnuje celou problematiku tohoto návrhu, přes rozbor současného stavu možností výroby, analýzu možných výrobních postupů, výběr optimální varianty a návrh tvářecího nástroje včetně ekonomického hodnocení.

Cílem této bakalářské práce je návrh vhodného postupu výroby a univerzálního tvářecího nástroje pro výrobu celé rozměrové řady zadaného výlisku.

Zadaný výlisek je součástí systému nábytkového kování posuvných dveří. Jedná se o prostorově tvarovanou součástku, která je vyráběna celkem v šesti variantách. Jednotlivé varianty se od sebe odlišují v jejich délce a tímto i zkosením, které je v této délce. Nejkratší varianta je tvarově trochu odlišná, z důvodu krátké délky ohýbané části. Roční výrobní množství je 40 tisíc kusů od každé varianty. Návrh výsledné technologie je ovlivněn zejména počtem vyráběných kusů za rok a podobností celého požadovaného sortimentu výlisků.

Na obr. 1 je příklad postupového nástroje upnutého na lise v horní pozici zdvihu.

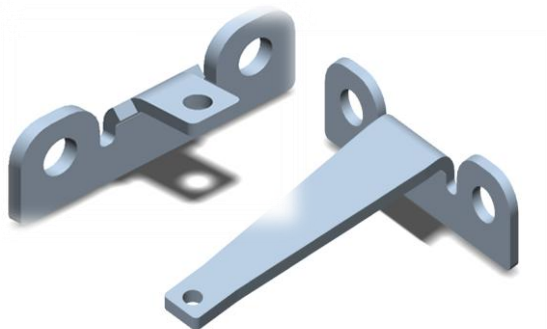


Obr. 1 Průběh lisování v postupovém nástroji [21]

1 VÝBĚR VHODNÉ TECHNOLOGIE VÝROBY

Volbu nejvhodnější technologie výroby zadané součásti (obr. 2) ovlivňují různé aspekty, které se musí brát v úvahu při jejím výběru. Můžou to být například:

- předpokládané roční vyráběné množství,
- předpokládaná doba výroby, tj. kolik roků bude daný výrobek vyráběn,
- materiál výrobku,
- tvarová složitost,
- požadovaná přesnost výrobku,
- dostupnost strojového vybavení.



Obr. 2 Vyráběná součást
(nejmenší a největší varianta)

1.1 Současný stav řešení

Pro výrobu zadané součásti se nabízí několik výrobních postupů.

- Obrábění s následným ohybem.

Zadanou součást by bylo možné konvenčně obrábět a následně ohnout v přípravku, nebo jednoduchém nástroji. Tato metoda, ale vzhledem k určenému ročnímu množství není vůbec vhodná.

- Řezání vodním paprskem, nebo laserem s následným ohybem.

Součást je možné řezat s použitím výše zmíněných technologií a následně ohnout. Pro tuto metodu by bylo nutné mít k dispozici zmíněné technologie a také by bylo nutné vyrobit přípravek, nebo nástroj pro ohyb jako konečnou operaci stejně jako v předešlém bodě. Avšak pro požadované výrobní množství tyto technologie už nejsou zcela vhodné.

- Odlévání.

Využití technologie odlévání pro tuto součást by bylo možné, avšak vzhledem k ročnímu množství tato technologie není vhodná. Bylo by možné použití technologie tlakového vstřikování zinku. Avšak pro tuto volbu by bylo nutné provést změnu navrženého materiálu a s největší pravděpodobností i úpravu tvaru součástky.

- Plošné tváření.

Zadanou součást je možné vyrábět uzavřeným stříháním s následným ohybem. Při stříhání součástí z materiálu o tloušťce do 4 mm se u běžného stříhání dosahuje přesnosti IT 12 až IT 14. Pro stříhání by bylo nutné použít více jednodušších nástrojů, které by obsáhly všechny rozměrové varianty. Nebo navrhnout jiné řešení nástroje, které by umožnilo výrobu celého požadovaného sortimentu součástí.

Shrnutí použití možných technologií

Z těchto všech výše zmíněných technologií připadají reálně v úvahu pouze tři technologie, a to je především technologie plošného tváření, dále z důvodu ročního vyráběného množství méně vhodná technologie řezání laserem, nebo vodním paprskem. Dole je stručné seznámení s posledními dvěma zmíněnými technologiemi, tedy řezání vodním paprskem a laserem, a to pro případné ekonomické porovnání s technologií plošného tváření.

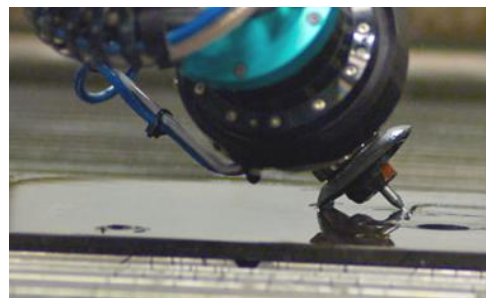
Řezání vodním paprskem [24]

Principem technologie řezání vodním paprskem (obr. 3) je, že voda pod velmi vysokým tlakem přes čerpadlo a vysokotlaké vedení vstupuje do řezací hlavy, kde se mění v trysce na vodní paprsek o rychlosti několikrát vyšší než zvuk. Pro řezání se používají dva typy řezacích paprsků:

- čistý vodní paprsek, který se používá pro měkké materiály,
- abrazivní paprsek pro tvrdé materiály (příměs abraziva).

Pracovní tlak vody se pohybuje v rozsahu 50–400 MPa. Díky novým pokročilým technologiím je dnes možno řezat i ve 3D, a při přesnostech až 0,05 mm tak zcela odstranit nákladné následné mechanické obrábění i na velmi tvrdých materiálech. Omezením při konstrukci dílů pro technologii vodního paprsku je pouze nutnost respektovat odvod vody paprsku do volného prostoru. Rychlost řezání je kolem 10 m/min. Abrazivní paprsek má následující vlastnosti:

- žádné tepelně ovlivněné zóny,
- žádné mechanické namáhání,
- tenký proud (průměr 0,508 až 1,27 mm),
- mimořádně detailní geometrie,
- řezání tenkého materiálu,
- řezání materiálu do tloušťky 254 mm,
- řezání materiálu ve svazcích,
- malý odpad materiálu při řezání,
- nízké řezné síly, během řezání max. 4,5 N,
- rychlé přepínání mezi čistým a abrazivním vodním paprskem,
- omezení počtu následných operací,
- malé nebo žádné otřepy.



Obr. 3 Řezání vodním paprskem [24]

Řezání laserem [25]

Řezání laserem (obr. 4) je v současné době nejrozšířenější aplikace výkonových laserů ve strojírenství. Vysoká koncentrace energie umožňuje dělit všechny technické materiály bez ohledu na jejich tepelné, fyzikální a chemické vlastnosti. Fokuseovaný laserový svazek fotonů při dopadu na materiál ohřeje místo kontaktu na teplotu varu, přičemž okolní materiál je v úzké zóně nataven. Řezání laserem může být sublimační oxidační, nebo tavné.

Laserové řezání se vyznačuje těmito výhodami:

- je možné řezat téměř všechny technické materiály,
- řezné rychlosti jsou vysoké – v metrech až desítkách metrů za minutu,
- tloušťka řezu u oceli dosahuje až 25 mm,
- přesnost řezání je vysoká cca 0,05 až 0,1 mm na jeden metr délky řezu,
- velmi dobrá kvalita řezných ploch s drsností cca Ra 1,6,
- lze provádět rovinné i prostorové řezy,
- vlivem snadné regulace výkonu je kvalita řezu rovnoměrná na celé řezné ploše včetně rohů, kde je výkon laseru redukován v závislosti na rychlosti pohybu řezné hlavy,
- úzká řezná spára – fokusace laserového svazku na průměr cca 0,05 mm.

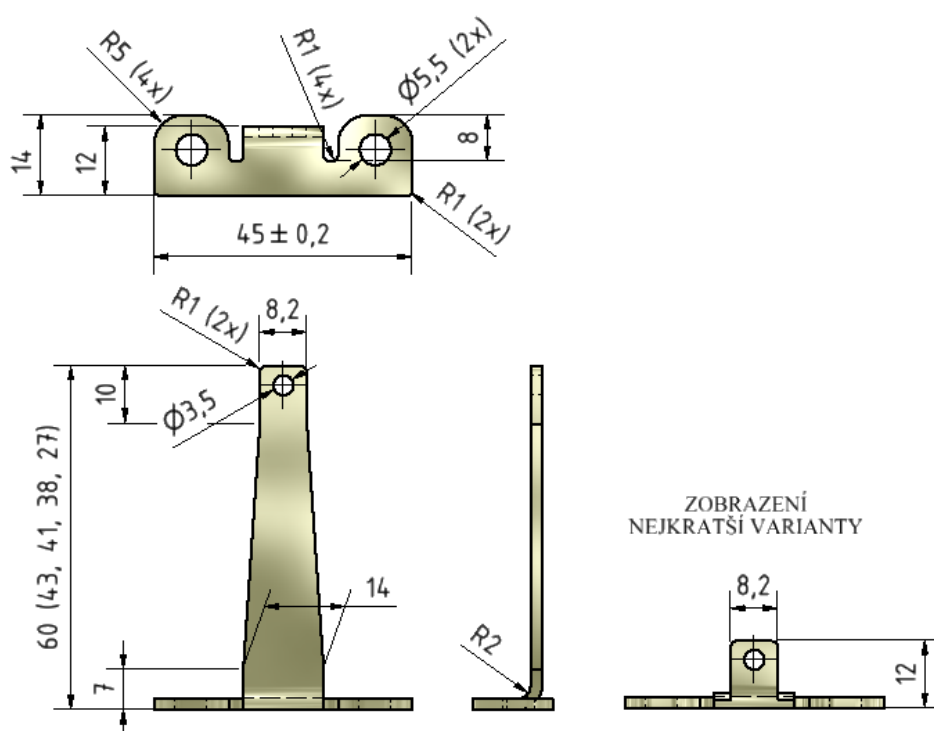


Obr. 4 Řezání laserem [25]

1.2 Technologičnost součásti

Zadaná součást, která je zobrazena na obr. 5, nemá na výkresu žádné velmi přesné tolerované rozměry. Celkový tvar součástky neobsahuje žádné tvarové části, které by byly problematické pro dosažení optimálního výstřižku. Celkový tvar je tedy vhodný pro výrobu uzavřeným stříháním. Další požadavky například na drsnost povrchu střížných ploch geometrii součásti nejsou zadány. Součástka splňuje i technologičnost pro ohýbání, kde ohyb je kolmo ke stříženým hranám součásti, které jsou tvořeny odlehčením okolo ohýbané části. Vnitřní rádius ohybu splňuje požadavky pro požadovaný minimální rozměr. Ohýbané rameno je dostatečně dlouhé, a v blízkosti ohybu není žádný otvor, který by bylo nutné děrovat až po ohnutí součásti. Dále viz kapitola 2.8 a 3.7 (*Technologičnost konstrukce*).

Materiál součásti je uhlíková ocel 11 373.1 o tloušťce 2 mm. Materiálové vlastnosti: R_e je 235 MPa a R_m je 380 MPa. Součást je vyráběna celkem v šesti délkových variantách. Nejkratší varianta výlisku se liší tvarem zakončení z důvodu jeho krátké délky. Rozměry jsou tolerovány dle ISO 2768-m,K.



Obr. 5 Vyráběná součást

1.3 Vyhodnocení volby výrobní technologie

Vezmeme-li v úvahu všechny aspekty, které ovlivňují volbu výrobní technologie, tak nejvýhodnější technologií pro výrobu této tvarové součástky je výroba postupovým stříháním. Z hlediska ekonomické výhodnosti bude také nejvýhodnější použití (navrzení) sduženého nástroje, který by umožnil výrobu všech rozměrových typů v jednom nástroji, a to pokud možno včetně ohybu.

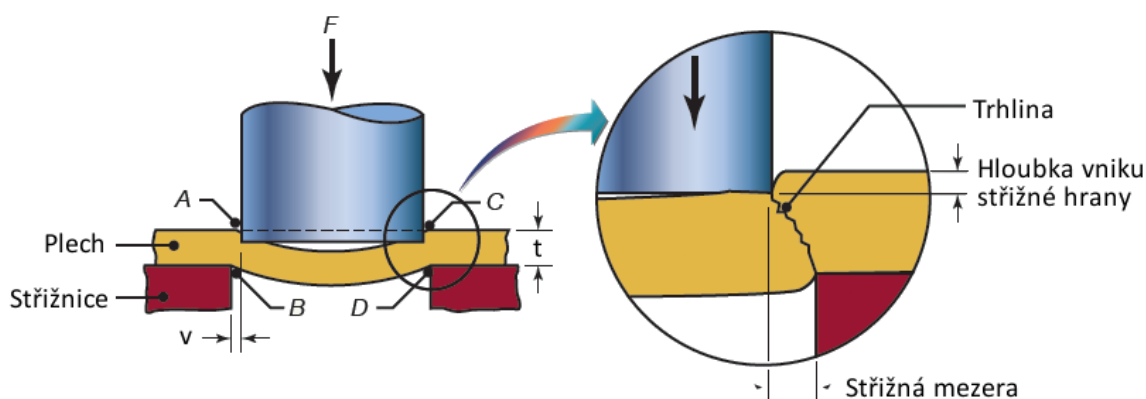
Zvolená technologie výroby, postupovým stříháním, odpovídá požadavkům na kvalitu výrobku a je zejména ovlivněna předpokládaným ročním objemem požadovaných kusů a návratnosti investice za střížný nástroj.

2 Teoretické předpoklady stříhání [1, 2, 7, 8, 11]

Tváření je proces, při kterém za působení vnějších sil dochází k požadované změně tvaru polotovaru bez porušení materiálu. Podstatou tváření je vznik plastických deformací, které vznikají při dosažení napětí na mezi kluzu pro daný materiál.

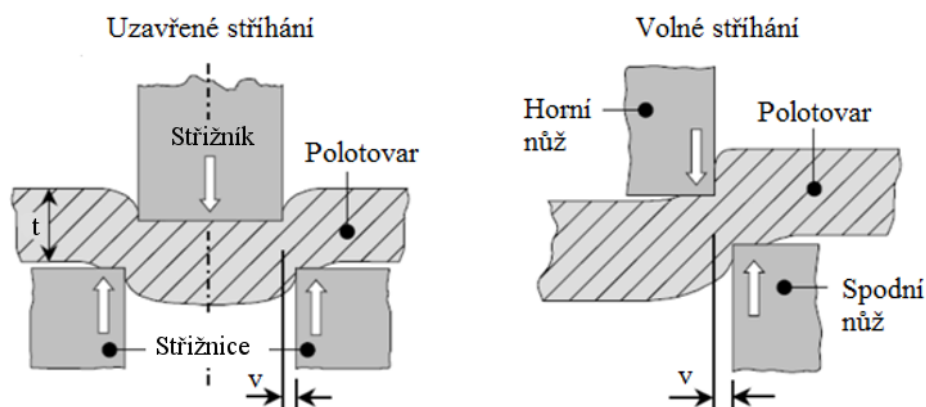
K hlavním výhodám tváření patří velmi dobrá rozměrová přesnost tvářených výrobků, vysoké využití materiálu a vysoká produktivita práce. Nevýhodou jsou vysoké ceny strojů, nástrojů. Proto se tato technologie uplatňuje hlavně v hromadné nebo sériové výrobě.

Stříhání patří k základním technologiím tváření, a je nejrozšířenější způsob zpracování plechu. Podstatou stříhání je oddělování materiálu protilehlými noži, kde oddělení nastane přesně v žádané rovině z důvodu, že materiál je elastický, tvárný a smykové napětí způsobuje tlak nožů po celé ploše. Proces stříhání se tedy přibližuje čistému smyku. Stříhání se řadí do oblasti beztržkových technologií, u kterých nedochází k úběru materiálu a vzniku třísek. Schematický proces stříhání se zobrazením střížníku a střížnice zobrazuje obr. 6.



Obr. 6 Schematický proces stříhání [11]

Stříhání může být buď volné, nebo uzavřené (obr. 7). Nejčastěji používanou variantou ve střížných nástrojích je stříhání uzavřené. V některých případech může ale být i používána varianta volného stříhání, jako např. ostříhování pasu, nebo výstřižku jako poslední operace u postupového stříhání.

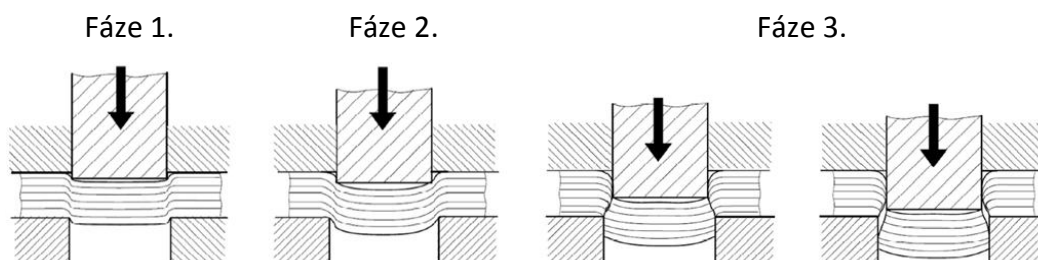


Obr. 7 Uzavřené stříhání a volné stříhání [8]

2.1 Průběh stříhání [2, 8, 19]

Během procesu stříhání probíhají v zásadě tři základní fáze (obr. 8). V první fázi po dosednutí střížníku dochází k pružnému vnikání do povrchu stříhaného materiálu. Dvojice

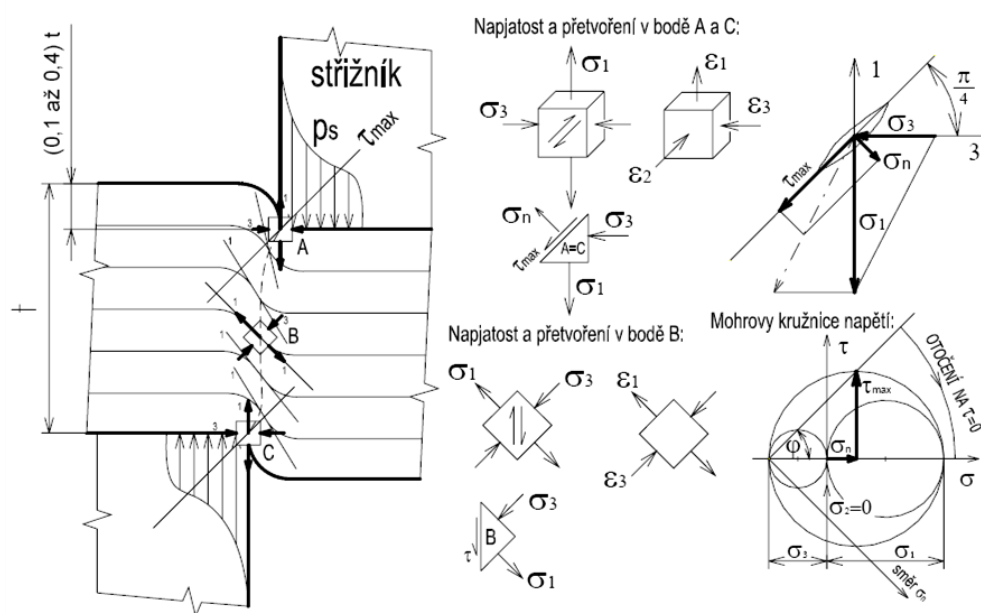
sil mezi hranami střížníku a střížnice způsobuje ohyb. Ve druhé fázi je napětí větší než mez kluzu a dochází k trvalému plastickému přetvoření. Ve třetí fázi dosáhne napětí meze pevnosti ve stříhu τ_s . Vznikne tzv. nástřih, tj. tvoří se první trhlinky, které se postupně se šíří, až dojde k celkovému oddělení výstřížku.



Obr. 8 Průběh stříhání s normální střížnou vůlí [8]

2.2 Rozbor stavu napjatosti při uzavřeném stříhání [4, 9, 19]

V průběhu uzavřeného stříhání je ohybový moment navenek vyvážen, může ale způsobit nežádoucí trvalé přetvoření ve střížné ploše, která je pružně svírána při protlačování výstřížku. Materiál je natahován a současně vytlačován do stran mezi pružnými hranami a uvolňuje místo břitům, které postupně vnikají do materiálu. Na obr. 9 jsou podélné vrstvy, znázorněné vrstevnicemi, které se prodlužují a výrazně mění křivost. Také tloušťka plechu se zmenšuje mezi břity.

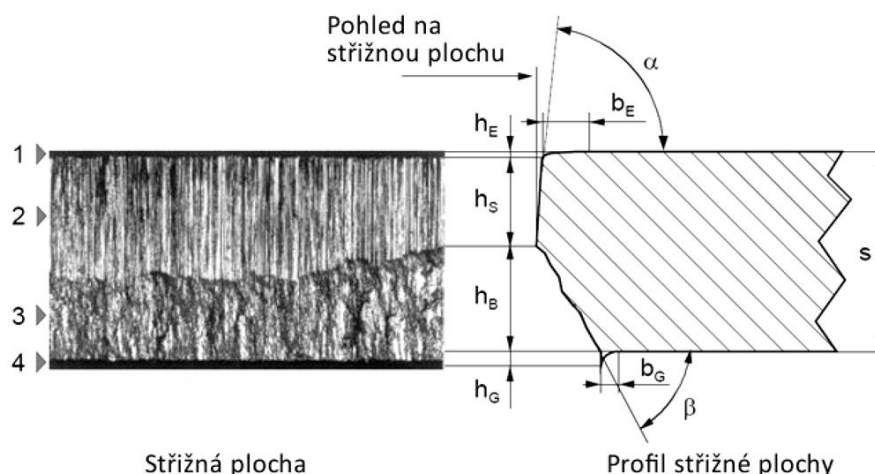


Obr. 9 Schéma napjatosti a přetvoření při stříhání [9]

2.3 Tvar a kvalita střížné plochy [2, 10, 19]

Geometrie a kvalita střížné plochy závisí na vlastnostech materiálu, velikosti střížné vůle tvaru a geometrii střížných hran, stavu napjatosti a rychlosti stříhání. Charakteristická pásma na střížné ploše jsou znázorněna obr. 10. Tvar střížné plochy můžeme rozdělit celkem do čtyř pásem.

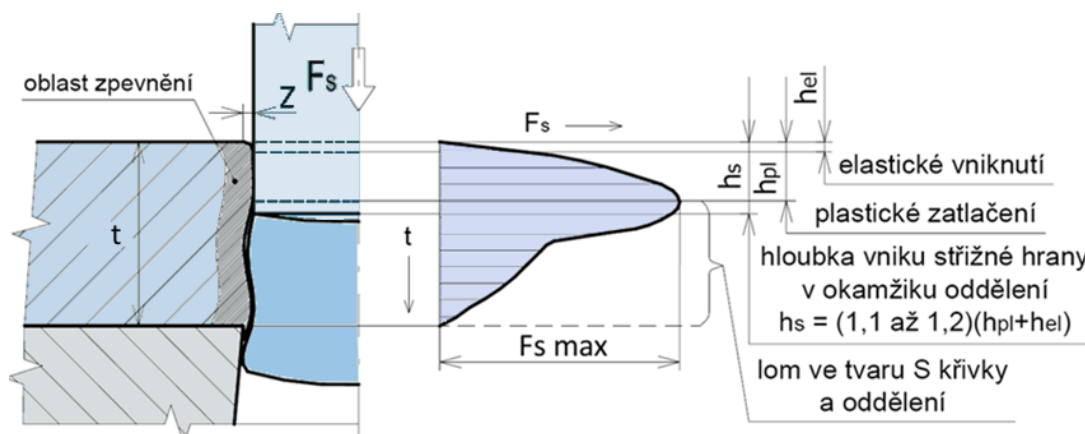
- 1) Odpovídá pružné deformaci materiálu při vnikání střížníku (ohýbání krajních vláken). Je větší, čím je materiál tvárnější. Bývá 5–8 % tloušťky stříhaného materiálu.
- 2) Pásmo vlastního stříhu. Hladká a lesklá část střížné plochy je vytvořena plastickou deformací. Velikost této oblasti je dána vlastnostmi stříhaného materiálu, která činí 10–28 % jeho tloušťky.
- 3) Probíhá oddělování stříhané části pod smykovým napětím z předcházející oblasti samovolně. Není již zapotřebí další síly k úplnému oddělení výstřížku.
- 4) Tato oblast představuje vtisk dolního bříty. Na okraji této oblasti se vytváří otřep.



Obr. 10 Tvar a kvalita střížné plochy [10]

2.4 Střížná síla [2, 6, 9, 19]

Charakteristický průběh střížné síly v závislosti na hloubce vniknutí střížníku je představen na obr. 11. Po krátké dráze elastického vniknutí bříty – napěchování kovu pod břitem dochází k plastickému přetvoření. Vlivem lokálního zpevnění dochází k plynulému nárůstu síly. Po vzniku nástříhu nastává ještě mírný a plynulý pokles síly, a to až po hloubku vniknutí h_s , kdy dojde k úplnému porušení lomem ve tvaru S křivky a následnému oddělení výstřížku s výrazným poklesem síly. Hloubka zpevnění dosahuje 20 až 30% tloušťky materiálu.



Obr. 11 Charakteristický průběh střížného procesu a střížné síly [9]

Střížnou sílu ovlivňují následující faktory:

- střížná vůle (tlak potřebný k prostřížení klesá do určité meze se stoupající vůlí),
- naostření řezných hran razníku a matrice,
- úhel sklonu střížných hran,
- vlastnosti materiálu (pevnosti, houževnatosti, povrchu, směru vláken, tepelném zpracování),
- hloubka vniknutí střížníku do materiálu,
- četné jiné důležité činitele (chlazení, mazání atd.).

K největšímu přetvoření stříhaného materiálu dochází na střížných hranách, směrem do materiálu se deformace zmenšuje. Při postupu střížníku se přetvárná práce vyčerpá a dojde k porušení soudržnosti materiálu (ustřížení). Střížnou sílu lze zjednodušeně vypočítat ze vztahu:

$$F_s = k_o \cdot \tau_s \cdot S = k \cdot \tau_s \cdot L \cdot t \text{ [N]} \quad (2.1)$$

Kde:

- | | |
|----------------|---|
| k_o | – je opravný součinitel na opotřebení nástroje (1,2 až 1,5), |
| τ_s [MPa] | – je střížný odpor materiálu, pro ocel (0,75 až 0,90) R_m , |
| S [mm] | – je střížná plocha, |
| L [mm] | – délka střížné hrany, |
| t [mm] | – je tloušťka materiálu. |

Střížná síla působí rovnoměrně, působí-li v těžišti součásti (výstřížku).

2.5 Střížná práce [2, 19]

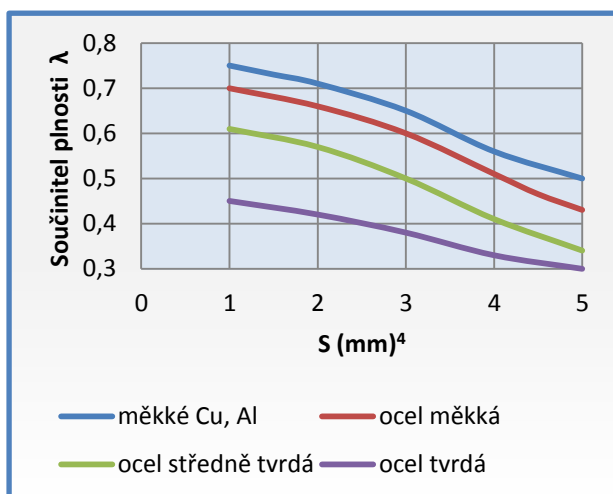
Střížnou práci ovlivňují zejména, střížná síla a třecí síly vznikající při vystříhování a stříhání materiálu. Střížná práce je odvozena od přetvárné práce lisu a lze ji vypočítat z následujícího vztahu:

$$A = \lambda \cdot F \cdot t \text{ [J]} \quad (2.2)$$

Kde:

- λ [-] – součinitel plnosti z grafu závislosti na tloušťce stříhaného materiálu,
 F [N] – střížná síla na tloušťce t ,

Velikost součinitele λ se určí podle tloušťky materiálu z diagramu na obr. 12.



Z uvedeného diagramu (obr.12) lze vyčíst hodnotu součinitele plnosti dle použité tloušťky stříhaného materiálu a jeho druhu. A to pro následující druhy materiálů:

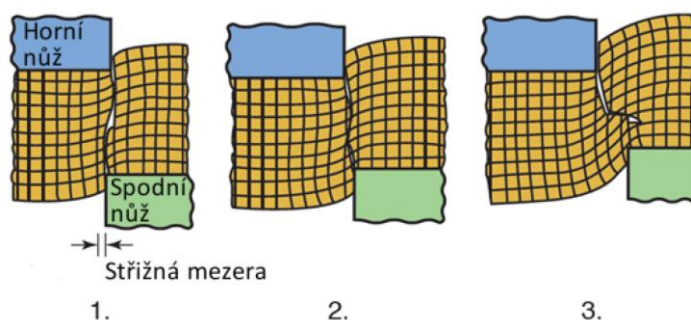
- pro měď a hliník,
- měkké oceli $\tau_s=250-300$ MPa,
- středně tvrdé oceli $\tau_s=350-500$ MPa,
- tvrdé oceli $\tau_s=500-700$ MPa.

Obr. 12 Diagram závislosti součinitele plnosti [2]

2.6 Střížná vůle [3, 2, 6, 10, 23]

Střížná vůle má vliv na velikost, kvalitu a vzhled střížné plochy. Na obr. 13 je znázorněn vliv střížné mezery na trhliny, které vznikají v materiálu od obou střížných hran. Je žádoucí, aby se obě trhliny setkaly uprostřed stříhaného plechu. Je-li střížná vůle příliš velká, vzniká tříska. Třískový odpad se pak hromadí ve stříhadle, a tím mohou vzniknout problémy s pohyblivými částmi stroje.

Střížná mezera je závislá na střížném odporu τ_s a měla by být volena tak, aby výstřížek byl v požadované kvalitě bez dalších zbytečných operací. Také je nutné brát v úvahu životnost střížného nástroje. Menší vůle snižuje trvanlivost nástroje a jakost výrobku, větší vůle má za následek, že vystřížený otvor je kuželový (dolů se rozšiřuje), materiál při okraji se ohýbá. Tyto různé protichůdné požadavky je nutné ekonomicky vyhodnotit před návrhem střížného nástroje a provést nejprve pečlivou analýzu pořizovacích a provozních nákladů.



Obr. 13 Střížná mezera [10]

2.6.1 Výpočet střížné vůle [3, 5, 23]

Střížná vůle je rozdíl mezi celkovým rozměrem střížníku a střížnice. Střížná vůle se dělí na dvě stejné mezery, které mají být stejné po celé obvodu stříhu. Velikost střížné mezery se obvykle volí mezi 5–10% tloušťky stříhaného materiálu. Střížnou vůli můžeme také určit dle normativních tabulek, nebo spočítat, například s použitím níže uvedeného vztahu. Pro plechy tloušťky $s \leq 3\text{mm}$ platí:

$$v = 2 \cdot z \cdot \sqrt{\frac{\tau_s}{10}} = 2 \cdot c \cdot t \cdot \sqrt{\frac{\tau_s}{10}} \quad [\text{mm}] \quad (2.3)$$

Kde:

- | | |
|----------------|---|
| z [mm] | – mezera mezi střížníkem a střížnicí, |
| c [-] | – volíme v rozmezí $c = (0,005 \div 0,035)$, |
| τ_s [MPa] | – střížný odpor, |
| t [mm] | – tloušťka stříhaného materiálu. |

2.6.2 Vliv vůle mezi razníkem a matricí na rozměry výstřížku [5]

Při určování rozměrů řezu mohou nastat dva případy. A to je buď vystřihování, nebo děrování.

▪ Vystřihování

Při vystřihování vnějšího obrysu součástky jsou rozměry výstřížku závislé na rozměrech střížnice. Střížnice má tedy rozměr výstřížku a střížník se zmenší o střížnou vůli.

▪ Děrování

Při děrování jsou rozměry otvoru závislé na skutečných rozměrech střížníku. Střížník má tedy rozměr výstřížku a střížnice se zvětší o střížnou vůli.

2.7 Pevnostní výpočty střížníku a střížnic [23]

Střížníky běžného provedení s malou délkou stačí kontrolovat na namáhání v tlaku, s použitím následujícího vztahu:

$$\sigma_d = \frac{F_s}{S} < \sigma_{dov} [\text{MPa}] \quad (2.4)$$

Kde:

- | | |
|------------------------|--|
| F_s [mm] | – střížná síla, |
| S [mm ²] | – plocha průřezu střížníku, |
| σ_{dov} [MPa] | – dovolené namáhání v tlaku (2000–2500 MPa). |

V případě delších střížníků je nutné provést kontrolu na vzpěr. Kritická délka pro vedený střížník se vypočte podle vztahu:

$$l_k = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_b \cdot F_s}} [\text{mm}] \quad (2.5)$$

Kde:

- | | |
|------------------------|---|
| F_s [mm] | – střížná síla, |
| E [MPa] | – modul pružnosti vztahu (ocel – $2,15 \cdot 10^5$), |
| I [mm ⁴] | – moment setrvačnosti ($I = 0,05 \cdot d^4$), |
| k_b [-] | – koeficient bezpečnosti (1,5 – 2). |

Kontrola tloušťky střížnice vypočtená s přihlédnutím k dovolenému napětí v ohybu:

$$H = \sqrt{\frac{1,5 \cdot F_s}{\sigma_{dov}}} [\text{mm}] \quad (2.6)$$

Kde:

- | | |
|----------------------|--|
| F_s [mm] | – střížná síla, |
| σ_{dov} [MPa] | – dovolené namáhání v ohybu (300 – 400 MPa). |

2.8 Technologičnost konstrukce v návrhu výstřižků [2, 13, 14, 18]

Technologičnost konstrukce je souhrn mnoha požadavků, které musí splnit konstrukce výrobku pro zajištění jeho správné funkce a požadovanou životnost při minimálních nákladech na výrobu. Optimální konstrukce bývá proto většinou kompromisem mezi technickými požadavky, technologickými možnostmi a ekonomičností výroby. Požadavky na konstrukci z hlediska technologičnosti můžeme obecně shrnout do několika zásad:

- vysoká využitelnost materiálu (malý odpad, vhodné profily, odlehčení nezatěžovaných částí),
- přizpůsobení konstrukce technologii výroby, která musí být volena s ohledem na objem výroby,
- nízká cena, nízký počet druhů materiálů,
- využití hromadně vyráběných polotovarů a dílů,
- volba tvaru a rozměrů s ohledem na technologii výroby (tloušťky stěn, otvory, dutiny,

- drážky, úkosity, výstupky, žebra, dělicí plochy, zaoblení atd.),
- přiměřené nároky na drsnost, přesnost, výskyt vad, rozptyl mechanických vlastností atd.,
- jednoduchá, krátká a nenákladná příprava výroby,
- co nejmenší spotřeba speciálních nástrojů – přípravků, strojů a zařízení,
- co nejmenší počet a nejnižší složitost operací,
- co nejkratší doba a průběžný čas výroby a montáže,
- co nejjednodušší manipulace a doprava,
- co nejmenší spotřeba výrobních a skladovacích ploch,
- využívání typizace a unifikace,
- využívání dědičnosti (přebírání osvědčených dílů a konstrukčních prvků),
- možnost nenáročné recyklace výrobku.

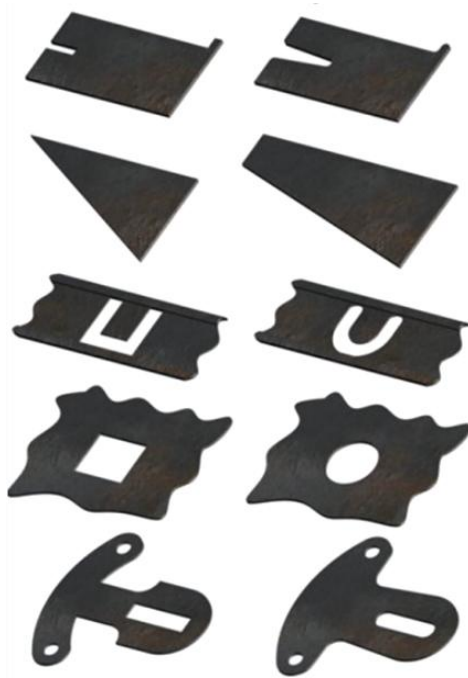
Z těchto zásad vyplývá, že je mnohdy nutné často řešit protichůdné požadavky. Proto je velmi složité najít cestu k optimální konstrukci. Praxe potvrzuje, že dodatečné zásahy ve výrobě, které by zlepšily technologičnost konstrukce napraví jen 5 až 15% případů. Z tohoto je patrné, že návrh vyráběného dílu a konstrukce nástroje je nejdůležitější etapou v celém výrobním procesu.

Technologičnost konstrukce musí brát v úvahu vlivy, které výrazně ovlivňují proces stříhání. Je to hlavně nedokonalost procesu stříhání, mechanické vlastnosti stříhaného materiálu a jeho tloušťku, mechanicko-fyzikální vlastnosti funkčních ploch nástroje, výrobní možnosti použitých strojů a nástrojů. Nejvýznamnější složkou vstupující do technologického postupu je z hlediska nákladů spotřeba materiálu, a z tohoto důvodu je nutné se více věnovat optimalizacím nástřihového plánu. Cílem této optimalizace je dostat takové uspořádání, které minimalizuje odpad materiálu.

2.8.1 Technologičnost výstřižků [2, 13, 14, 18]

Stanovení správné technologičnosti konstrukce výstřižku je základním předpokladem pro optimální technologický postup a maximální hospodárnost výroby. Tvar výstřižku by měl splňovat účelovost, estetičnost, jednoduchost s minimální spotřebou materiálu. Již při návrhu výstřižku je nutné uvažovat počet výrobních operací a jednotlivé tvary střižných nástrojů. Volba vhodných tvarů nástrojů můžou vyloučit jejich budoucímu poškození při provozu, nebo tepelném zpracování.

Při úvaze o tvaru výstřižku je vhodné vyhnout se nevhodným tvarům, a nahradit je vhodnými technologickými tvary při stejném funkčním výsledku (obr.14). Při stříhání je velmi důležité výstřižky rozmístit na pás plechu tak, aby odpad byl co nejmenší. Rozmístění výstřižků na pásu plechu je potom označováno jako nástřihový plán. Odpad (ať už technologický nebo konstrukční) je nedílnou součástí technologie stříhání, která patří mezi hromadné výrobní procesy, proto se musí rozmístění výrobků věnovat velká pozornost. Materiál tvoří zhruba 60 až 75 % celkových nákladů. Volba nástřihového plánu závisí



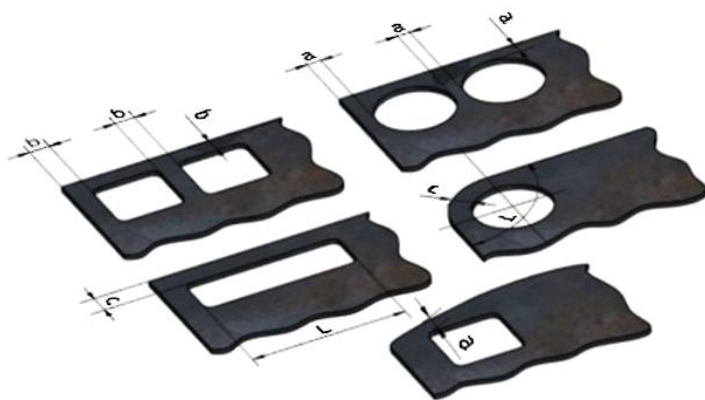
Obr. 14 Nevhodné a vhodné tvary výstřižku [18]

na tvaru a konstrukci výrobku, na dodržování zásad konstrukce, na minimálních vzdálenostech mezi výrobky od okraje pásu (obr. 15). Hospodárnost nástřihu charakterizuje součinitel využití materiálu, který lze zapsat ve tvaru:

$$h = \frac{S_o}{S_p} [-] \quad (2.7)$$

Kde:

S_o [mm²] – celková plocha výstřižků,
 S_p [mm²] – plocha pásu plechu.



Obr. 15 Požadavky na kritické rozměry výstřižku [18]

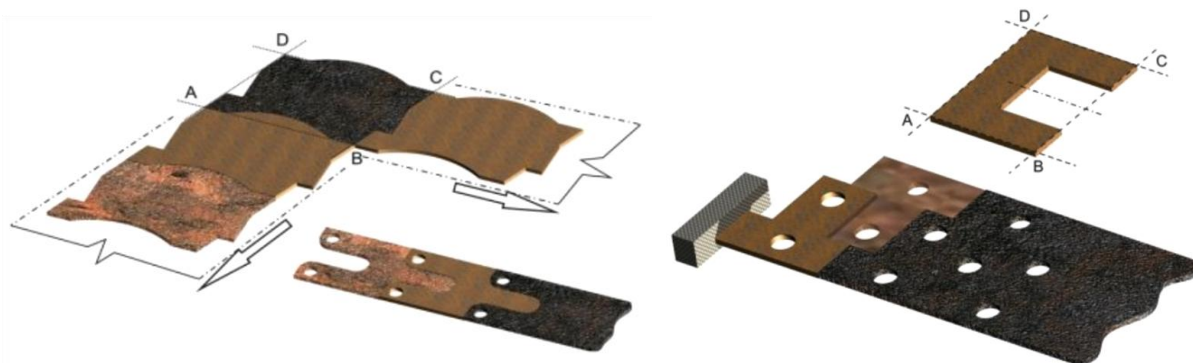
Tvar a uspořádání výstřižku na pásu velkým způsobem ovlivňuje využití materiálu. Výsledný součinitel hospodárného využití materiálu by neměl být menší než 0,7. Obecně se nechá říci, že technologičnost materiálu je tím lepší, čím menší je šíře pásu potřebná na vystřižení výrobku. Tím lze očekávat menší odpad materiálu, lepší manipulaci, menší rozměry nástroje atd. Při stejné spotřebě materiálu je lepší dát přednost

nástřihu, u nějž je kratší krok než šířka pásu. K dosažení technologičnosti konstrukce je zapotřebí respektovat některé nedokonalosti procesu stříhání, jako např. drsnost střižné plochy, malé zešíkmení střižné plochy, zeslabení tloušťky plechu podél střižné hrany, zpevnění materiálu do hl. 0,1 až 0,2 mm, odchylky v rozměrech, nebo prohnutí výstřižku. Uvedeným nedokonalostem jde předcházet, nebo zabránit použitím např. přesného stříhání, kalibrování apod. Toto ale vede ke zvýšení ceny výrobních nákladů.

Na základě výše uvedených vlastností stříhání je možné definovat pravidla technologičnosti.

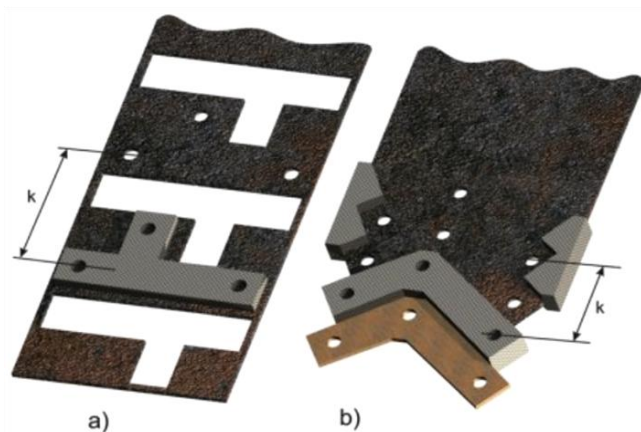
- Navrhovat optimálně nástřihové plány. Využití materiálu by mělo být minimálně 70 %.
- Vhodně volit rozměrové tolerance. Výstřižky menších rozměrů než 150 mm se vyrábějí v toleranci IT 12 až IT 14, u přesných stříhadel s vodícími sloupky v toleranci IT 9 až IT 11.
- Nepředepisovat rovinnost výstřižků, která se vlivem ohybového momentu těžko dodržuje. V případě úzkých kroužků (podložky apod.) předepisovat hodnotu jen nezbytně nutnou.
- Nepředepisovat kolmost střižné plochy, které běžným stříháním nelze dosáhnout. V případě konstrukčního požadavku na kolmost je nutné zvolit technologii přesného vystřihování.
- Vhodně volit jakost povrchu střižné plochy. Ustřižená část mívá drsnost $Ra = 3,2 \div 6,3$. Přesným stříháním a děrováním lze dosáhnout $Ra = 0,2 \div 0,8$.

- Dávat přednost kruhovým otvorům před nekruhovými, případně tvarovými. Plynulé přechody oblouků do přímkové části výstřižků zdražují nástroj a vyžadují uzavřený stříh s bočními a podélnými přepážkami. Nicméně kruhové otvory a tvary jsou méně výhodné z hlediska spotřeby materiálu.
- Vhodně volit vzdálenosti mezi otvory a vnějším obrysem. Vzdálenost mezi otvory nebo otvorů od okraje výstřižku má být nejméně: $a \geq 0,8 t$, $b \geq t$, $c \geq 1,5 t$ (Uvedené údaje platí pro polotvrdý ocelový plech $R_m = 500 \text{ MPa}$. U měkčích materiálů je třeba uvedené vzdálenosti zvětšit o 20 až 25 % u plechu o tloušťce $t \leq 1,5 \text{ mm}$ a 10 až 15 % u plechů větších tloušťek.
- Dbát na možnost stříhání nejmenších otvorů. Nejmenší velikost otvorů, jež lze běžným nástrojem prostříhnout, závisí na tloušťce a druhu materiálu.
- Šířka vyčnívajících částí dílu, nebo nejmenší šířka štíhlých výstřižků má být 1,5 t.
- Rohy na výstřižku mají být sraženy nebo zaobleny.
- Není správné měnit na výstřižku poloměr zaoblení rohů, střídát ostré a zaoblené rohy. Plynulé přechody oblouků do přímých částí obrysu apod. zdražují nástroj a vyžadují uzavřený stříh.
- Nejvhodnější tvar výstřižku je rovnoběžník, jehož protější strany jsou stejně tvarovány jako negativ a pozitiv (obr. 16). Nelze-li dodržet tvar negativ – pozitiv, vyhoví také tvar symetrický vzhledem k ose strany.



Obr. 16 Metoda volby nejvhodnějšího tvaru výstřižku [18]

- Rozvětvené tvary výstřižku jsou velmi neúspěšné, je třeba hledat tvary spojitě. Čím jednodušší je obrys konečného výrobku, tím je snazší a levnější výroba nástroje a jeho údržba. Toto zvláště platí pro malé výrobky. Příklad nástřihových plánů jednoduchých součástí jsou zobrazeny na obr. 17.

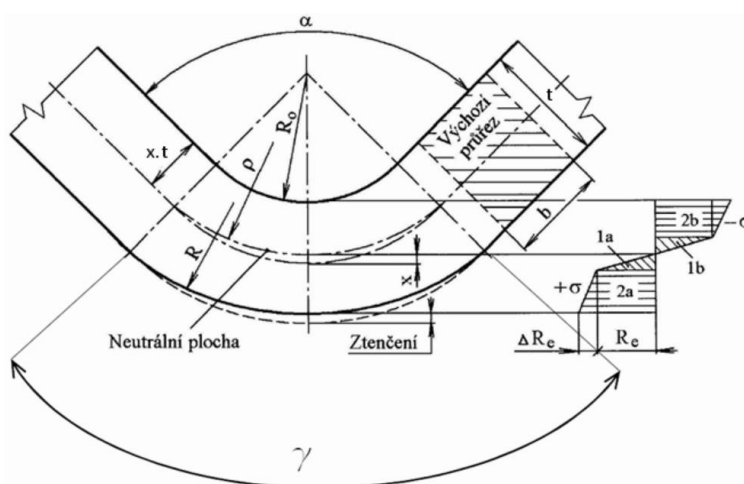


Obr. 17 Nástřihový plán jednoduchých obrysů součástí [18]

3 Teoretické předpoklady ohýbání [1, 12, 13]

Ohýbání je technologická operace, při které působením ohybové síly dochází k trvalé změně polotovaru. Při tomto procesu dochází k pružně plastické deformaci materiálu. Na velikost této deformace mají vliv kvalita a tloušťka materiálu v místě ohybu, orientace ohybu vzhledem ke směru válcování, poloměr ohybu a velikost ohybových momentů. K ohýbání se používají ohýbadla, skládající se z ohybníku a ohybnice. Ohnutí tělesa do žádoucího tvaru využívá stejných zákonů plasticity, jako ostatní způsoby tváření, tj. překročením meze kluzu dosáhneme oblasti plastické deformace. Plastická deformace je doprovázena deformací elastickou. Po průřezu je to pružně plastická deformace, která má různý průběh od povrchu materiálu k neutrální ose. Proces ohýbání je znázorněn na obr. 18.

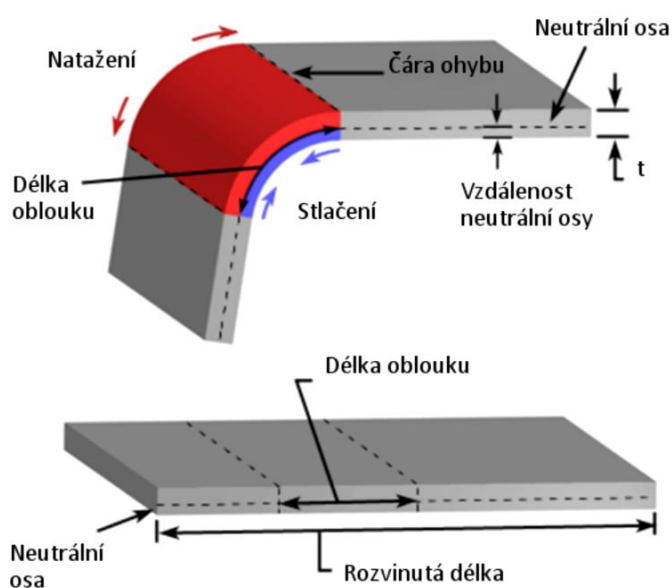
1a, 1b – oblast pružné deformace,
2a, 2b – oblast plastické deformace se zpevněním ΔR_e ,
b – šířka pásu plechu,
t – tloušťka materiálu,
x – velikost posunutí neutrální plochy,
R₀ – poloměr ohybu,
l₀ – délka ohnutého úseku v neutrální ploše,
ρ – poloměr neutrální plochy,
γ – úhel ohnutého úseku ($g = 180 - \alpha$),
α – úhel ohybu.



Obr. 18 Proces ohýbání [12]

3.1 Stanovení rozvinuté délky polotovaru [1, 15]

Pro ohýbanou součást se stanoví délka polotovaru součtem jednotlivých délek rovných úseků konečného výrobku a délek oblouků v neutrálním místě ohybu. Délka neutrální osy l_n v ohnutém úseku závisí na úhlu oblouku neutrální osy, na poloměru ohybu R_0 a na tloušťce ohýbaného materiálu t . Zobrazení neutrální osy a rozvinuté délky je na obr. 19. Vztah pro výpočet rozvinuté délky:



$$l_n = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot (R_0 + x \cdot t) \text{ [mm]} \quad (3.1)$$

Kde:
 φ [°] – úhel hybu,
 t [mm] – tloušťka materiálu,
 R_0 [mm] – vnitřní rádius ohybu,
 x [-] – hodnota součinitele x.

Obr. 19 Neutrální osa a rozvinutá délka [15]

V tabulce 3.1 jsou uvedeny součinitele x pro úhel ohybu 90° , pro oceli třídy 11 a 12. Přibližně lze uvedené hodnoty použít i pro oceli ostatních tříd.

Tab. 3.1 Hodnoty součinitele x [1]

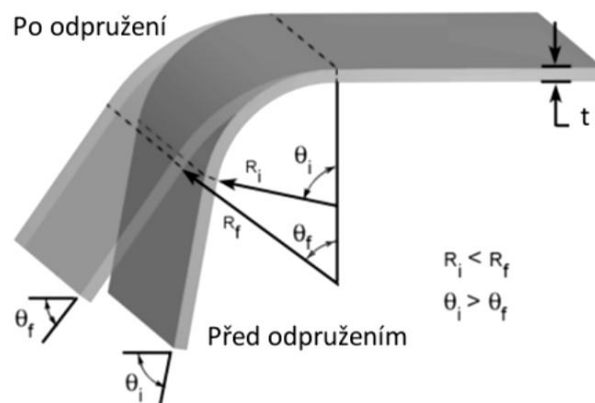
R_0/t	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486

3.2 Odpružení při ohýbání [1, 14, 15]

Odpružení způsobuje nežádoucí deformaci výlisku při ohýbání. Vzniká relaxací napětí, jakmile na materiál přestane působit deformační síla. Na velikost odpružení mají vliv mechanické vlastnosti ohýbaného materiálu, tloušťka, poměr poloměru ohybu k tloušťce materiálu, velikost úhlu ohybu a také konstrukce ohýbacího nástroje. V problematice plošného tváření můžeme definovat několik typů odpružení, a to: úhlová změna, natočení boční stěny, natočení, zkřivení hrany, zkřivení povrchu a celkovou změnu tvaru.

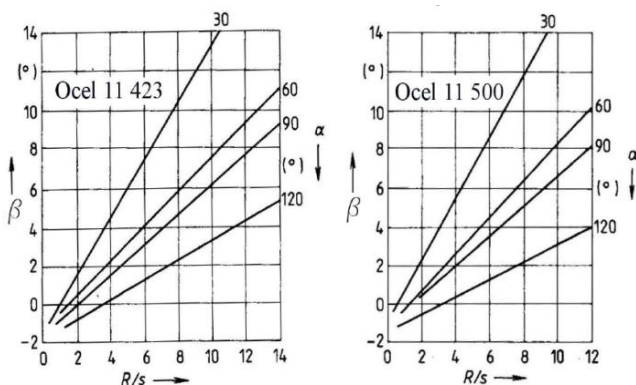
3.2.1 Úhlová změna [1, 14, 15]

Úhlová změna, kterou znázorňuje obr. 20, je definovaná jako úhlový rozdíl mezi ohýbaným a výsledným tvarem součástí po odlehčení tvářecí síly. Je způsobena ohybovým momentem, vyvolaným rozdílem napětí ve směru tloušťky plechu během ohýbání přes poloměr ohybu. Představuje základní typ odpružení a má za následek zvětšení ohýbaného poloměru. Poslední poloměr ohybu R_f bude větší, než který se původně tvořil a konečný úhel ohybu φ_f bude menší než úhel φ_i . Poměr konečného úhlu ohybu na počáteční úhel ohybu je definována jako faktor odpružení K_s .



Obr. 20 Terminologie odpružení [15]

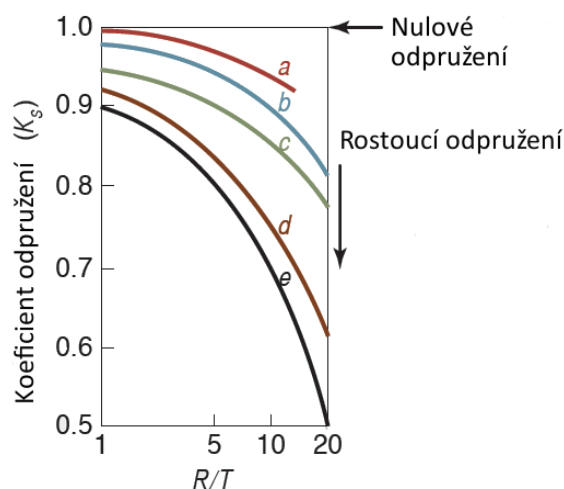
3.2.2 Výpočet velikosti odpružení [1, 4, 11]



Obr. 21 Diagramy odpružení v závislosti na úhlu ohybu [1]

Velikost odpružení lze určit několika způsoby, a to buď praktickou zkouškou daného materiálu, určením odpružení z diagramů, nebo výpočtem. Na obr. 21 jsou znázorněny velikosti odpružení v závislosti na úhlu ohybu pro dva typy ocelí.

Obr. 22 znázorňuje faktor odpružení K_s pro různé druhy materiálu:



- (a) Al slitiny EN AW 2024 a EN AW 7075,
 (b) austenitická nerezová ocel,
 (c) Al slitina EN AW 2024-T,
 (d) 1/4-tvrdá austenitická nerezová ocel,
 (e) polotvrdá až tvrdá austenitická nerezová ocel.
 Koeficient $K_s = 1$, udává nulové odpružení.

Obr. 22 Diagram koeficientů odpružení [11]

Koeficient odpružení K_s je definován následujícím vztahem:

$$K_s = \frac{\alpha_f}{\alpha_i} = \frac{(2R_i / t) + 1}{(2R_f / t) + 1} \quad [-] \quad (3.2)$$

Kde:

- α_f [°] – úhel ohýbaný,
 α_i [°] – úhel konečný,
 R_f [mm] – ohýbaný rádius,
 R_i [mm] – konečný rádius,
 t [mm] – tloušťka materiálu.

Schéma ohybu a odpružení pro V a U zobrazuje obr. 23. Příklad přibližného výpočtu odpružení udávají tyto vztahy:

Pro ohyb tvaru V:

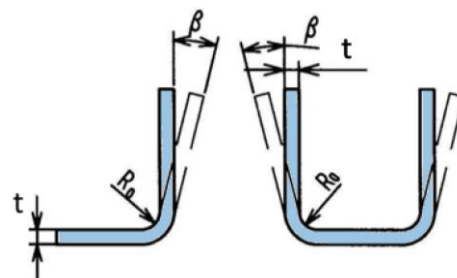
$$\tan \beta_v = 0,375 \cdot \frac{l \cdot R_e}{k \cdot t \cdot E} \quad [^\circ] \quad (3.3)$$

Pro ohyb tvaru U:

$$\tan \beta_u = 0,75 \cdot \frac{l_m \cdot R_e}{k \cdot t \cdot E} \quad [^\circ] \quad (3.4)$$

Kde:

- β [°] – jednostranný úhel odpružení,
 t [mm] – tloušťka materiálu,
 α_i [°] – úhel konečný,
 k – součinitel poměru R/T (lze stanovit jako $k=1-x$),
 l_m [mm] – rameno ohybu
 E [MPa] – modul pružnosti v tahu
 ($2,1 \cdot 10^5$)

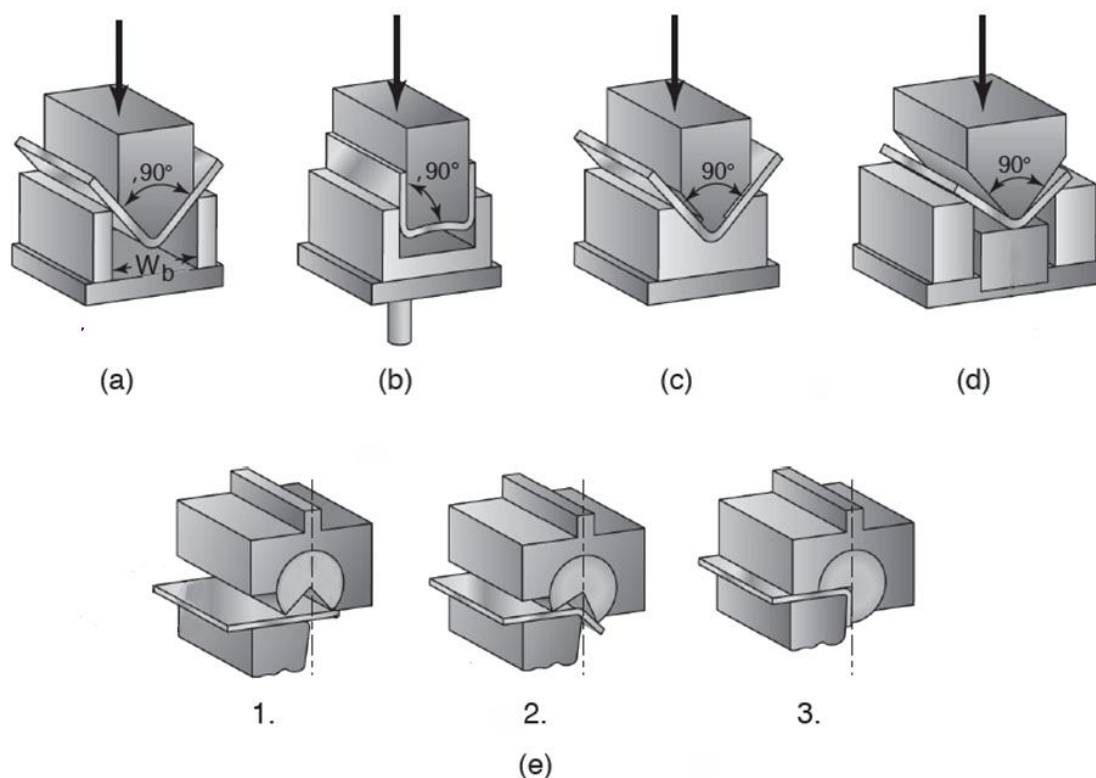


Obr. 23 Schéma odpružení ohybu V a U [1]

3.2.3 Eliminace odpružení [1, 14, 15]

Velikost odpružení výrazně ovlivňuje především druh použité materiálové jakosti. Návrh geometrie součásti, a tedy i nástroje, by měl být proveden takovým způsobem, aby nebyla velikost odpružení citlivá na změnu materiálové šarže, tloušťky a dalších parametrů lisování. V řadě případů je postačující, pokud se provede úprava nástroje tak, aby bylo zabezpečeno větší přetvoření součásti, a po odlehčení byl získán požadovaný tvar. Pokud je problém s dodržením stanovené rozměrové tolerance, lze využít dodatečných vyrovnávacích operací (kalibrace). V některých případech je víceúrovňové tažení žádoucí, nebo dokonce požadované.

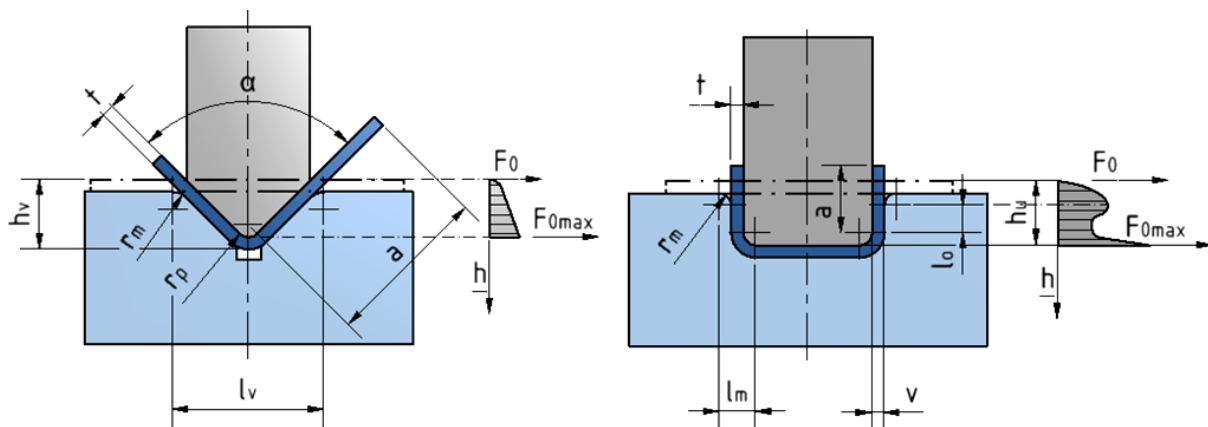
Důležité jsou lisovací operace zajišťující eliminaci odpružení. Odpružení je také možné vyloučit zpevněním materiálu v rozích rázem, vytvořením vyztužovacího žebra v místech ohybu, podbroušením pohyblivé čelisti, zaoblením dolní strany pohyblivé čelisti a přidržovače poloměrem R , postupným ohýbáním s odlehčením pevné čelisti o tloušťku materiálu, zpevněním materiálu deformačním poloměrem v pevných čelistech. Při speciální úpravě čela ohybníku pro zmenšení odpružení vzroste celková ohýbací síla o 25%. Některé příklady eliminace odpružení jsou znázorněny na obr. 24.



Obr. 24 Příklady snížení nebo eliminace velikosti odpružení [11]

3.3 Ohybová síla a práce [1, 16]

Dva základní způsoby ohýbání jsou zobrazeny na obr. 25, kde je zobrazen ohyb U a V , zahrnující také znázornění ohýbací síly a práce. Ohýbaný polotovár je považován za nosník spočívající na dvou podporách ve vzdálenosti l_v zatíženého uprostřed silou F_o . Ohýbací síla se zvětšuje třením polotovaru o funkční části ohýbadla až o $1/3 F_o$. Ve výpočtu je tedy nutné zohlednit všechny faktory, které mají vliv na ohýbací sílu. V literatuře můžeme najít více výpočtových vztahů. Pro běžnou praxi se ale používá výpočet dle ČSN 22 7340, která je též směrnicí pro výpočet a konstrukci ohýbacích nástrojů.



Obr. 25 Ohyb do tvaru V a U [1, 16]

Vztah pro výpočet ohýbací síly ohybu tvaru V a U:

$$F_{ov} = \frac{c \cdot R_m \cdot b \cdot t^2}{l_v} [N] \quad (3.5)$$

$$F_{ou} = \frac{0,4 \cdot R_m \cdot b \cdot t^2}{l_m} [N] \quad (3.6)$$

Kde:

b [mm]

– šířka ohybu,

c [-]

– součinitel podle diagramu obr. 26,

R_m [MPa]

– mez pevnosti v tahu,

α [°]

– úhel ohybu,

t [mm]

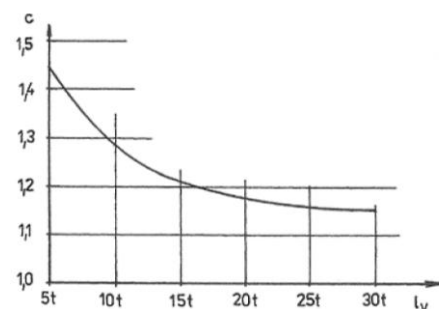
– tloušťka plechu,

l_v [mm]

– vzdálenost ohýbacích hran,

l_m [mm]

– rameno, na kterém působí síla ohybu.



Obr. 26 Diagram součinitele c pro ohyb V [16]

Vztah pro výpočet práce ohybu tvaru V a U:

$$A_{ov} = \frac{1}{3} \cdot \frac{F_{cv} \cdot h_v}{1000} [J] \quad (3.7)$$

$$A_{ou} = \frac{1}{6} \cdot \frac{F_{cu} \cdot h_u}{1000} [J] \quad (3.8)$$

Kde:

F_{cv} [N]

– celková síla potřebná k ohybu V a k vyrovnání ramen výlisku,

F_{cu} [N]

– celková síla potřebná k ohybu U a kalibraci,

h_v [mm]

– pracovní zdvih,

h_u [mm]

– pracovní zdvih ($h_u = l_0 + r_p + r_m + t$).

Potřebná síla k vyrovnání výlisku při ohybu V se vypočítá dle vztahu:

$$F_v = S_v \cdot p [N] \quad (3.9)$$

Kde:

S_{vp} [mm²]

– vyrovnávaná plocha,

p [MPa] – měrný tlak.

Potřebná síla k vyrovnání výlisku při ohybu U se vypočítá dle vztahu:

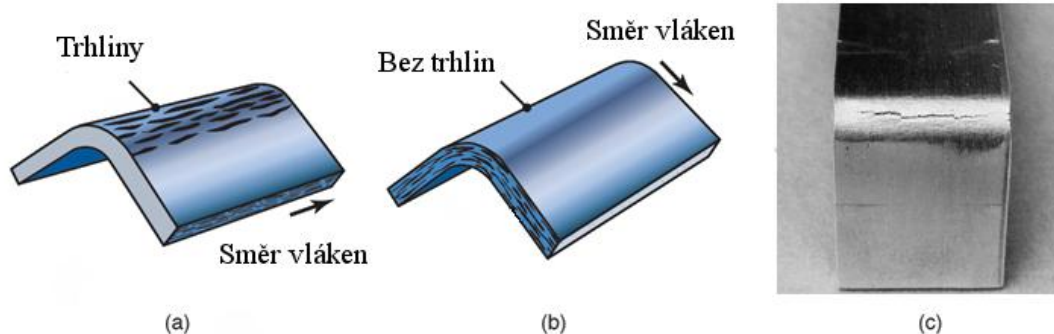
$$F_{cu} = 3 \cdot F_{ou} [\text{N}] \quad (3.10)$$

Při ohýbání s přidržovačem je nutné ohýbací sílu zvětšit ještě o sílu přidržovače, která je 0,25 až 0,3 F_{ou} .

3.4 Porušení materiálu při ohýbání [1, 11]

Při ohýbání se objevují také některé technologické problémy, jako např. praskání materiálu. Při ohýbání dochází ke zpevňování materiálu, a při určité kritické hodnotě R_0/t se soudržnost materiálu poruší a vznikají trhlinky. Jestliže je osa ohybu podél vláken (tato varianta se nedoporučuje) zvětšuje se $R_{0\min}$ dvakrát. Je možné připustit, aby hrana ohybu součásti byla ke směru vláken materiálu 30° a více. Vystřiženou součást je třeba ohýbat takovým způsobem, aby otřepy s příčnými trhlinami byly na straně stlačení, to znamená v oblasti tlakových napětí. Závislost osy ohybu a směr vláken materiálu je znázorněna na obr. 27.

Dalším problémem při ohýbání je např. tvoření vln, které vznikají při ohýbání předmětů s tenkými stěnami. Lze je odstranit zařazením tahové síly při ohybu, nebo bočním přitlačením materiálu k nástroji.



Obr. 27 Závislost osy ohybu a směr vláken materiálu [11]

3.5 Minimální a maximální poloměr ohybu [4, 16]

Nejmenší poloměr ohybu musí odpovídat tvárnosti materiálu, aby nedošlo ke vzniku trhlin. Minimální poloměr ohybu definuje takovou mezní hodnotu, při které nedochází k porušení na vnější tahové straně. Dochází pouze k pružně plastickému pohybu. Maximální poloměr je poloměr, při kterém v krajních vláknech dojde k nevratnému přetvoření.

Minimální a maximální poloměry ohybu jsou vyjádřeny těmito empirickými vztahy:

$$R_{\min} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{\max}} - 1 \right) = c \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (3.11)$$

$$R_{\max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{\sigma_k} - 1 \right) \quad [\text{mm}] \quad (3.12)$$

Kde:

- t [mm] – tloušťka ohýbaného materiálu,
- ε_{\max} [mm] – maximální poměrné přetvoření,
- c – součinitel (např. pro ocel 0,5-0,6; pro měkkou mosaz 0,3-0,4; pro Al 0,35; dural 3-6 a měkkou měď 0,25),

- τ_s [MPa] – střižný odpor,
 E [Mpa] – modul pružnosti v tahu (pro ocel $2,1 \cdot 10^5$ MPa),
 σ_k [Nmm⁻²] – okamžitá hodnota meze kluzu.

3.6 Vůle mezi ohýbací vložkou a ohýbníkem [16, 17]

Při ohýbání materiálu do tvaru *V* je prakticky vůle rovna jen tloušťce ohýbané součásti. Pro ohýbání do tvaru *U* se vůle vypočítá dle následujícího vztahu. Avšak vůle má závislost na toleranci tloušťky použitého materiálu pro ohýbaný díl.

$$v_0 = (t \div t_{\max}) + c_u \cdot t \text{ [mm]} \quad (3.13)$$

Kde:

c_u [-] – součinitel, vyjadřující vliv tření s ohledem na délku ramene,
 t [mm] – tloušťka materiálu.

Tab. 3.2 Hodnoty koeficientu c_u [16]

Délka ramene a [mm]	Tloušťka ohýbané součásti t [mm]			
	do 0,5	0,5 - 2	2 - 4	4 - 7
10	0,1	0,1	0,08	-
20	0,1	0,1	0,08	0,06
35	0,15	0,1	0,08	0,06
50	0,2	0,15	0,1	0,08
75	0,2	0,15	0,1	0,1
100	-	0,15	0,1	0,1
150	-	0,2	0,15	0,1
200	-	0,2	0,15	0,15

3.7 Technologičnost konstrukce ohýbaných součástí [19]

Při ohýbání je nutné dodržet tyto zásady technologičnosti:

- poloměr ohybu je nutno volit co nejmenší, aby se zmenšilo odpružení,
- hrana ohybu má být kolmá na směr válcování,
- vzdálenost místa ohybu od kraje materiálu má být tím větší, čím je materiál tvrdší $L_{\min.} \geq t$,
- aby se kratší rameno nevtahovalo do ohýbadla, je nutno materiál v místě ohybu upevnit, například kolíčkem,
- mají-li být v oblasti ohybu přesné otvory, je nutné je vystříhnout dodatečně,
- předem vystřižené otvory nebudou deformovány, budou-li jejich okraje ve vzdálenosti minimálně $a \geq 2t$ od oblasti ohybu,
- osa ohybu má směřovat kolmo k obrysu součásti,
- výlisky s velkými poloměry ohybu jsou málo tuhé a je účelné je vyztužit žebry,
- protože v místě ohybu dochází vždy ke ztenčení materiálu, doporučuje se připustit 20% ztenčení,
- rozměry ohýbaných výlisků ponechávat netolerované všude tam, kde to funkce součástí připouští.

4 NÁVRH VLASTNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI

Pro výběr nejvhodnějšího výrobního postupu je nutné navržení a porovnání několika možných variant řešení výroby požadovaného dílu. Varianty řešení se mohou odlišovat různým uspořádáním výlisků na pásu, koncepcí nástroje (sdružený, nebo popřípadě použití několika nástrojů), technologií podávání pasu, a jiné. Výběr vhodné technologie také závisí na ročním počtu vyráběných kusů.

Jelikož se jedná o šest různých typů výstřižku, které se od sebe odlišují délkou, navazujícím zkosením a nejkratší varianta také tvarovým zastřížením koncové části, byly porovnávány tři základní možné koncepce nástroje:

- a) použití jednodušších střížných nástrojů pro každou požadovanou variantu a samostatného ohýbacího nástroje,
- b) modulový nástroj, ve kterém by bylo možné stříhat všechny typy výrobků a samostatného ohýbacího nástroje,
- c) koncepce modulového sdruženého nástroje, ve kterém by bylo možné stříhat všechny požadované výlisky včetně ohybu.

Z těchto možných variant byla upřednostněna varianta c (modulový sdružený nástroj). Konečné rozhodnutí o této variantě bylo ale v závislosti na návrhu nástřihového plánu a celkové možné koncepci nástroje.

4.1 Návrh výrobního postupu

Byly navrženy a porovnávány dvě varianty nástřihového plánu pro sdružený nástroj. A to varianty s podélným a příčným uspořádáním výlisků.

4.1.1 Uspořádání výlisků na pásu – varianta 1

Pro základní volbu velikosti můstku a okraje pásu byla použita tabulka v příloze 3. Rozměry byly optimalizovány v souvislosti navrženého postupu výroby.

Šířka můstku: $E_2 = 4 \text{ mm}$.

Velikost okraje pásu plechu: $F_2 = 2,5 \text{ mm}$.

Výpočet rozvinuté délky

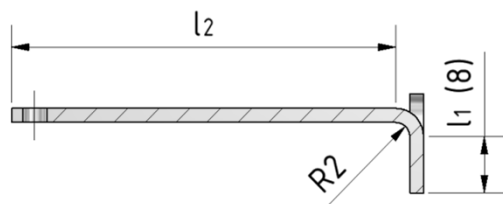
Délka rovného úseku l_1 je pro všechny délkové varianty stejná, a je 8 mm. Délka rovného úseku l_2 pro jednotlivé délkové varianty je: 56, 39, 37, 34, 23, 8 mm (obr. 28). Rozvinutá délka L_v (obr. 29) se vypočte součtem rovných úseku a délky oblouku v neutrální ose. Pro výpočet rozvinuté délky použijeme vztah 3.1 z kapitoly 3.1. Jednotlivé vypočtené rozvinuté délky všech délkových variant výstřižků jsou v tabulce 4.1.

$$l_n = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot (R_o + x \cdot t) = \frac{3,14 \cdot 90}{180} \cdot (2 + 0,42 \cdot 2) = 4,46 \text{ mm}$$

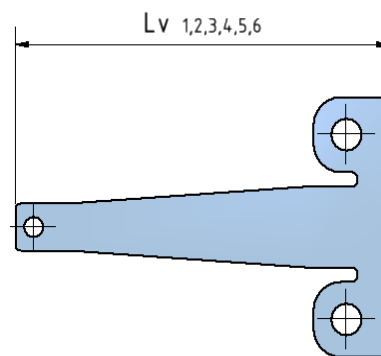
$$L_{v1} = l_1 + l_2 + l_n = 8 + 56 + 4,46 = 68,5 \text{ mm}$$

Tab. 4.1 Rozvinuté délky všech délkových variant výlisků

Varianta č.	1	2	3	4	5	6
L_v [mm]	68,5	51,5	49,5	46,5	35,5	20,5



Obr. 29 Zobrazení délek l_1 a l_2



Obr. 28 Rozvinutý tvar výlisku

Výpočet délky kroku

Vypočtené velikosti kroků pro jednotlivé varianty výlisku jsou v tabulce 4.2. Výpočet kroku se provede dle následujícího vztahu:

$$K = L_v + E_2 \text{ [mm]}$$

Kde:

E_2 – šířka můstku,

L_v – rozvinutá délka výlisku.

$$K_1 = L_{v1} + E_2 = 68,5 + 4 = 72,5 \text{ mm}$$

Tab. 4.2 Délky kroků pro všechny délkové varianty výlisků

Varianta č.	1	2	3	4	5	6
K [mm]	72,5	55,5	53,5	50,5	39,5	24,5

Výpočet šíře pásu

$$\check{S}_p = \check{S}_v + F_2 \cdot 2 \text{ [mm]}$$

$$\check{S}_p = 45 + 2,5 \cdot 2 = 50 \text{ mm}$$

Kde:

\check{S}_p – šířka pásu,

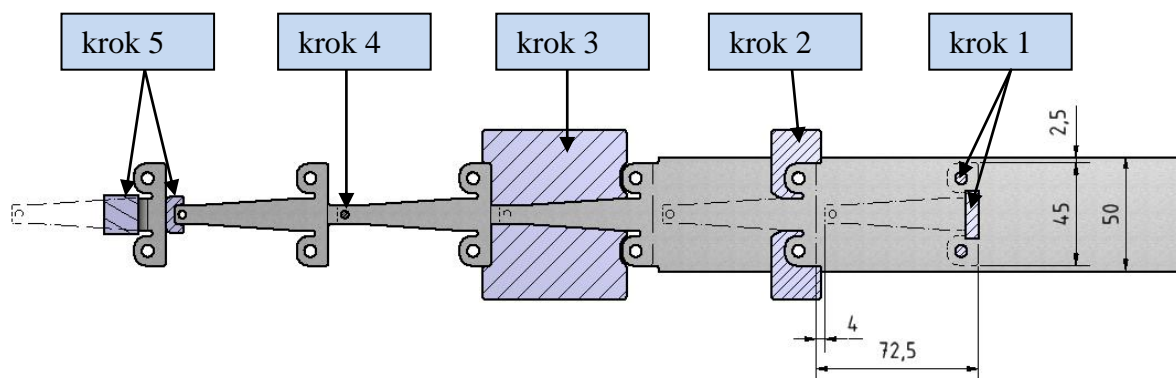
\check{S}_v – šířka výlisku,

F_2 – velikost okraje pásu.

Návrh výrobního postupu – varianta 1

Pro návrh koncepce nástroje je uvažováno použití materiálu ve svitku a podávacího zařízení. Výlisky jsou seřazeny v podélném směru na páse jednotlivě za sebou. Průběh celého stříhání (obr. 30) je rozdělen do pěti výrobních operací (kroků) v jednom nástroji.

- 1) V prvním kroku jsou děrovány dva otvory o průměru 5,5 mm a je raženo typové označení.
- 2) Ve druhém kroku je obstřížena kontura, která je stejná pro všechny délkové varianty výlisku.
- 3) Ve třetím kroku je obstřížení šikmé tvarové části a zadní části výlisku. Střížníky mají na jedné straně tvarové odlehčení od tvarové části výstřižku, vystřižené v předchozím kroku, pro optimální napojení již střížené hrany.
- 4) Ve čtvrtém kroku jsou děrovány otvory o průměru 3,5 mm.
- 5) V pátém kroku dochází k ohybu součástí a zároveň k přestřížení můstku.



Obr. 30 Nástřihový plán – varianta 1

4.1.2 Uspořádání výlisků na pásu – varianta 2

Šíře pásu je stejná jako rozvinutá délka výlisku, a je rozdílná pro jednotlivé délkové varianty výlisků. $E_2 = 4 \text{ mm}$.

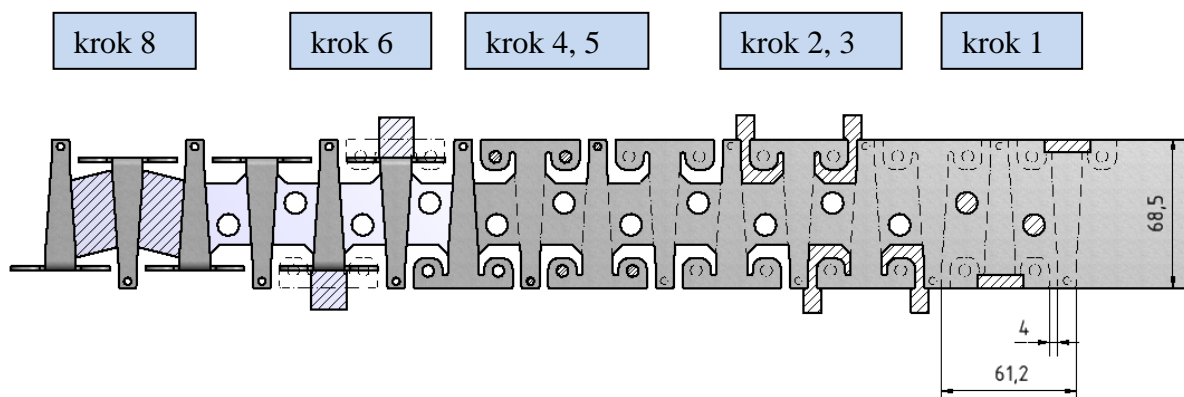
Výpočet délky kroku

$$K = 45 + 8,2 + 2 \cdot 4 = 61,2 \text{ mm}$$

Návrh výrobního postupu – varianta 2

Pro návrh koncepce nástroje je uvažováno použití materiálu ve svitku a podávacího zařízení. Výlisky jsou v příčném uspořádání, a jsou seřazeny průběžně naproti sobě tak, aby využití materiálu bylo co nejoptimálnější. Průběh celého stříhání (obr. 31) je rozdělen do osmi kroků. Následující body obsahují postup výroby včetně popisu jednotlivých kroků.

- 1) V prvním kroku jsou děrovány dva otvory pro hledací razníky a raženo typové označení.
- 2) Ve druhém a třetím kroku je obstřížena kontura, která je stejná pro všechny délkové varianty výlisku.
- 3) Ve čtvrtém a pátém kroku dochází k děrování otvorů o průměrech 3,5 a 5,5 mm.
- 4) Šestý krok je ohnutí součásti.
- 5) Sedmý krok je volný.
- 6) V osmém kroku dochází k odstřížení součásti.



Obr. 31 Nástřihový plán – varianta 2

4.2 Ekonomické využití plechu

Ekonomické využití materiálu je jeden z důležitých faktorů při rozhodování výběru varianty výrobního postupu, a tím i celkové koncepce nástroje. V této kapitole jsou porovnávány dvě varianty uspořádání výlisků na pásu (podélné a příčné), a to z hlediska procentuálního využití materiálu.

4.2.1 Výpočet ekonomického využití plechu

Počet výstřížků z 1 m pásu

Pro výpočet použit vztah: $P_v = \frac{L_p}{K}$ [ks]

Kde:

L_p – délka pásu,

K – krok.

Vypočtené počty kusů výstřížků pro všechny délkové varianty výstřížků jsou v tabulce 4.3. Z důvodu použití svitku materiálu nejsou počty kusů zaokrouhleny na celá čísla.

Tab. 4.3 Počet výstřížků pro jednotlivé délkové varianty

Varianta výlisku č.	1	2	3	4	5	6
P_v [ks] – varianta č. 1 (uspořádání podélné)	13,8	18	18,7	19,8	25,3	40,8
P_v [ks] – varianta č. 2 (uspořádání příčné)	32,7	32,7	32,7	32,7	32,7	32,7

Procentuální využití plechu

Pro výpočet procentuálního využití plechu potřebujeme znát celkovou plochu výstřížku, a to pro všechny délkové varianty. Tyto hodnoty byly zjištěny v CAD programu Inventor: $S_{v1}=1085$, $S_{v2}=897$ mm², $S_{v3}=875$ mm², $S_{v4}=842$ mm², $S_{v5}=719$ mm², $S_{v6}=540$ mm².

Postup výpočtu je proveden pouze pro největší délkovou variantu výlisku a pro podélné uspořádání. Vypočtené hodnoty procentuálního využití materiálu pro všechny varianty výlisku a pro obě varianty uspořádání, jsou v tabulce 4.4. Pro varianty příčného uspořádání je šíře pásu rovna rozvinuté délce výlisku.

Výpočet pro podélné uspořádání výlisků – varianta 1

Celková plocha 1 m pásu:

$$S_p = 1000 \cdot 50 = 50000 \text{ mm}^2$$

Celková plocha výstřížků z 1 m pásu:

$$S_{v1} = S_{v1} \cdot P_{v1} = 1085 \cdot 13,8 = 14973 \text{ mm}^2$$

Výpočet procentuálního využití:

$$V(\%) = 100 \cdot \frac{S_v}{S_p}$$

$$V_1(\%) = 100 \cdot \frac{14973}{50000} = 29,9 \%$$

Kde:

S_v – celková plocha výstřížku

S_{vc} – celková plocha výstřížků
z 1 m pásu

S_p – celková plocha plechu

Tab. 4.4 Procentuální využití plechu

Varianta výlisku	1	2	3	4	5	6
V [%] - varianta č.1 (uspořádání podél)	29,9	32,3	32,7	33,3	36,4	44,1
V [%] - varianta č.2 (uspořádání příčné 2x)	51,8	57	58	59,2	66,2	86,1

4.2.2 Vyhodnocení variant ekonomického využití plechu

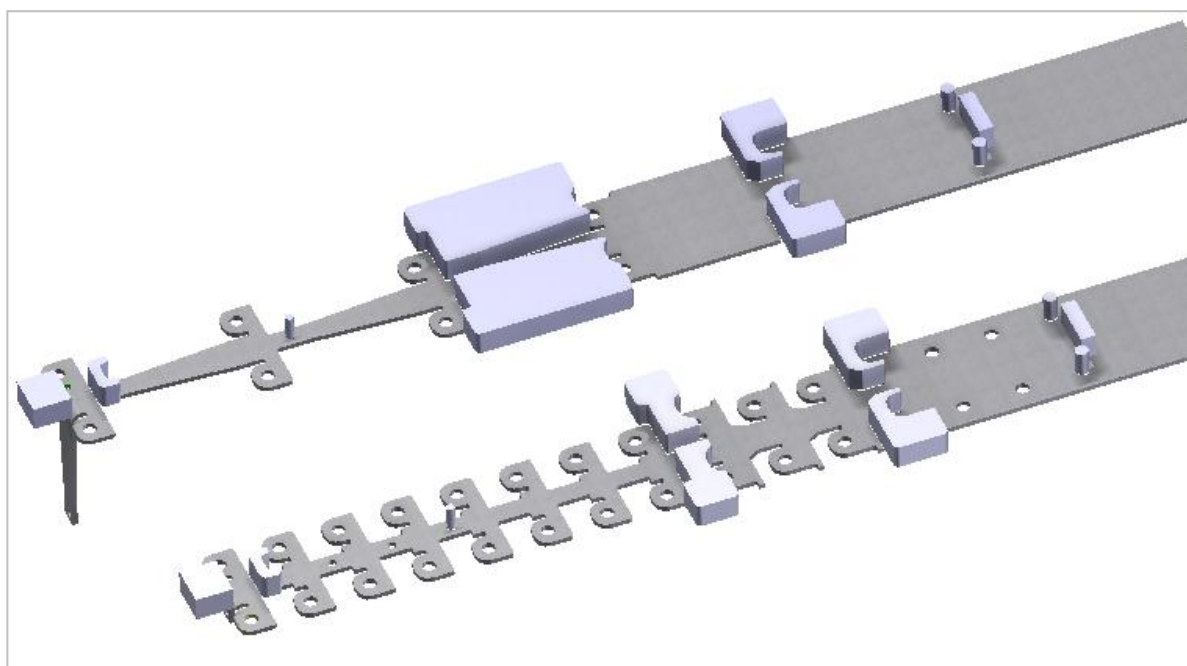
Porovnání procentuálního propočtu využití materiálu ukazuje, že z tohoto hlediska je výhodnější varianta příčného uspořádání, oproti variantě s podélným uspořádáním, která má menší procentuální využití materiálu.

Uvedené vypočtené hodnoty také ukazují, že využití materiálu se zlepšuje s kratší délkou výlisku.

4.3 Výběr nejvhodnější varianty technologického postupu

Kdyby jediným faktorem výběru postupu výroby bylo ekonomické využití materiálu, byla by to varianta s uspořádáním výlisků napříč pásu. Je ale nutné brát v úvahu další hlediska, jako náročnost výroby nástroje a jeho cena, manipulace, časová náročnost na seřízení nástroje (změna výroby jiné varianty), počty kusů za rok a jiné. Jestliže budeme uvažovat o modulárním nástroji, kde by bylo možné vyrábět všechny požadované varianty výlisku, je nutné zohlednit všechna tato hlediska nad ekonomickým využitím materiálu. U varianty s příčným uspořádáním by bylo nutné mít několik typů šíře pásů pro každou délkovou variantu. Takto řešený nástroj by také musel mít, s největší pravděpodobností, vyměnitelné části nástroje, a to pro každou variantu výlisku. Pro takto řešené uspořádání výlisků by byl nástroj velice komplikovaný, a tím by i výrazně vzrostla jeho cena. Navíc více šířek pásů oceli ve svitcích není ekonomicky výhodné pro skladování a manipulaci.

Z těchto zmíněných důvodů byla vybrána varianta č. 1, s podélným uspořádáním, která je zobrazena na obr. 32, a to v porovnání nejdelší a nejkratší varianty výlisku.



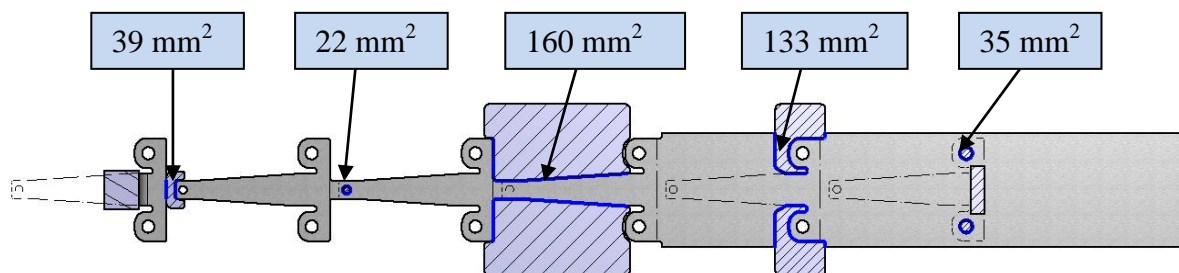
Obr. 32 Zvolená varianta s podélným uspořádáním (nejdelší a nejkratší varianta)

4.4 Výpočet střížné síly a práce

Výpočet střížné síly a práce je proveden pouze pro největší variantu výlisku, kde tyto hodnoty budou největší, a tedy hlavní pro určení velikosti lisu.

Střížná plocha

Střížná plocha se spočítá součinem délky střížné hrany a síly materiálu. Vzhledem k tvarové složitosti byly střížné plochy pro jednotlivé střížníky zjištěny v CAD programu Inventor. Celkovou střížnou plochu určíme součtem jednotlivých střížných ploch (obr. 33).



Obr. 33 Střížná plocha jednotlivých střížníků

4.4.1 Výpočet střížné síly

Pro výpočet střížné síly je použit vztah 2.1 z kapitoly 2.4.

$$F_s = k_o \cdot \tau_s \cdot S \quad [\text{N}]$$

$$F_s = 1,3 \cdot 304 \cdot 717 = 283358 \text{ N} \div 283,4 \text{ kN}$$

$$S = 2 \cdot 35 + 2 \cdot 133 + 2 \cdot 160 + 22 + 39 = 717 \text{ mm}^2$$

$$\tau_s = 0,8 \cdot 380 = 304 \text{ MPa}$$

k_o – koeficient opotřebení zvolen 1,3

R_m – pro ocel 11 373.1 je 380 MPa

4.4.2 Výpočet střížné práce

Pro výpočet střížné práce použijeme vztah 2.2 z kapitoly 2.5. Velikost součinitel λ byl zvolen 0,42.

$$A = \lambda \cdot F \cdot s \quad [\text{J}]$$

$$A = 0,58 \cdot 283358 \cdot 2 = 328695 \text{ J} = 328,7 \text{ kJ}$$

4.5 Výpočet ohybové síly a práce

Pro výpočet ohybové síly a práce jsou použity vztahy 3.6, 3.8 a 3.10 z kapitoly 3.3.

4.5.1 Výpočet ohybové síly

$$F_{ou} = \frac{0,4 \cdot R_m \cdot b \cdot t^2}{l_m} = \frac{0,4 \cdot 380 \cdot 14 \cdot 2^2}{8} = 1064 \text{ N}$$

Výpočet síly přidržovače

$$F_p = 0,3 \cdot F_{ou} = 0,3 \cdot 1064 = 319,2 \text{ N}$$

Celková ohybová síla včetně kalibrace a síly přidržovače

Protože ale ohýbáme jenom jedno rameno, je tedy výslednou sílu ještě dělit dvěma.

$$F_{cu} = \frac{3 \cdot (1064 + 319,2)}{2} = 2074,8 \text{ N}$$

4.5.2 Výpočet ohybové práce

$$A_{ou} = \frac{1}{6} \cdot \frac{F_{cu} \cdot h_u}{1000} = \frac{1}{6} \cdot \frac{2074,8 \cdot 20}{1000} = 6,9 \text{ J}$$

4.6 Výpočet velikosti odpružení

Pro výpočet velikosti odpružení je použit vztah 3.4 z kapitoly 3.2.2

$$\tan \beta_u = 0,75 \cdot \frac{l_m \cdot R_e}{k \cdot s \cdot E} = 0,75 \cdot \frac{8 \cdot 235}{0,58 \cdot 2 \cdot 210000} = 0,006 \rightarrow \beta = 0,34^\circ$$

Vypočítaná hodnota odpovídá všeobecné toleranci dle ISO 2768, střední hodnotě f , která je $\pm 1^\circ$. Odpružení je možno zmenšit použitím kalibrace, nebo jiných úprav. Je doporučeno s těmito úpravami počítat už při návrhu a nástroje, a provést je už při jeho výrobě. Je ale také možné tyto úpravy provést, pokud bude nutné, až po odzkoušení nástroje, avšak s dodatečnými náklady.

4.7 Výpočet velikosti střižné vůle

Pro výpočet střižné vůle použijeme vztah 2.3 z kapitoly 2.6.1. Velikost součinitele c volíme 0,01.

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot c \cdot t \cdot \sqrt{\frac{\tau_s}{10}} = 2 \cdot 0,01 \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{304}{10}} = 0,22 \text{ mm}$$

Dle výpočtu by vůle mezi střižníkem a střižnicí měla být 0,22 mm (střižná mezera 0,11 mm).

4.8 Výpočet vůle mezi ohýbací vložkou a ohybníkem

Pro výpočet vůle mezi ohybníkem a ohybnicí je použit vztah 3.13 z kapitoly 3.6. Z důvodu více ohýbaných délek byl zvolen koeficient c_u 0,1.

$$v_0 = (t \div t_{\max}) + c_u \cdot t = 2 + 0,1 \cdot 2 = 2,2 \text{ mm}$$

4.9 Výpočet minimálního poloměru ohybu

Z hlediska tvaru výlisku a použité technologii je stanoven pouze minimální poloměr ohybu. Výpočet provedeme s použitím vztahu 3.11 z kapitoly 3.5. Součinitel c stanoven 0,5.

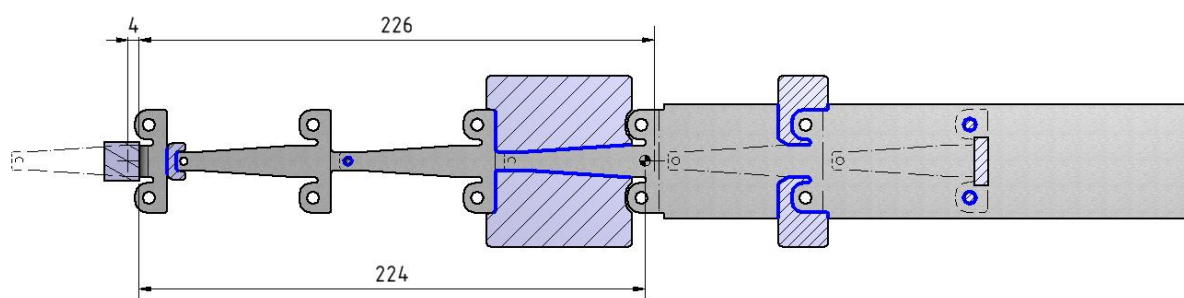
$$R_{\min} = c \cdot t = 0,5 \cdot 2 = 1 \text{ mm}$$

Vypočítaný minimální poloměr ohybu 1 mm vyhovuje technologičnosti výlisku, kde je poloměr na vnitřní straně ohybu 2 mm.

4.10 Výpočet souřadnic těžiště

Vzhledem k symetrickému tvaru a umístění součásti na pásu, stačí určit pouze hodnotu těžiště v ose x . Výpočet těžiště je provedeno pouze pro největší rozměr výlisku. Protože se jedná o modulový nástroj, je nutné pro ostatní varianty výlisků určit takovou polohu jednotlivých střížníků, aby jejich celkové těžiště bylo co nejbližší těžišti pro největší rozměr výlisku. Toto je možné např. vynecháním kroku mezi další střížnou operací a tím posunutí celkové tvářecí síly. Tímto způsobem půjde dostat těžiště jednotlivých variant co nejbližší k vypočítanému těžišti pro nejdelší variantu výlisku.

Jako nulový bod souřadnic těžiště je určena hrana ohybu výlisku. Vzdálenost těžiště na ose x určíme jako podíl výsledného krouticího momentu M_k a součtu výsledných sil F_s a F_o . Protože napravo od nulového bodu jsou pouze střížné operace, tak pro zjednodušení výpočtu je výsledná hodnota souřadnice těžiště pro všechny střížné plochy určena v CAD programu Inventor. Sílu pro ražení označení výlisku v prvním kroku je možné zanedbat. Na obr. 34 jsou znázorněny hodnoty vzdálenosti těžišť v ose x pro stříh a ohyb, včetně výsledné hodnoty souřadnice těžiště.



Obr. 34 Střížná plocha jednotlivých střížníků

Výpočet vzdálenosti těžiště v ose x :

$$T_x = \frac{\sum M_k}{\sum F_s + \sum F_o} = \frac{283358 \cdot 226 + 2074,8 \cdot 4}{283358 + 2075} = 224 \text{ mm}$$

Z výpočtu je zřejmé, že nedošlo k výraznému posunutí výsledné hodnoty těžiště v porovnání s těžištěm pro střížnou sílu. Výsledná hodnota těžiště je 224 mm od hrany ohybu výlisku. Pro ostatní varianty bude tedy dostačující určit pouze těžiště pro celkovou střížnou sílu.

Jak již bylo zmíněno, pozici střížníků pro ostatní varianty výlisku je nutné zvolit, tak aby výsledná těžiště ostatních variant byla co nejbližší vypočítané hodnotě.

5 NÁVRH STROJE [20]

Pro návrh stroje je rozhodující velikost celkové střížné a ohýbací síly.

$$F_c = F_s + F_o = 283400 + 2075 = 285475 \text{ N} \div 285,5 \text{ kN}.$$

Pro výběr velikosti lisu je nutné vědět některé parametry. Je to hlavně celková síla nutná k vyrobení výlisku. Další důležité parametry jsou: zdvih beranu, sevření, upínací plocha stolu a beranu. Pro tyto další jmenované parametry je nutné, aby byl nástroj navržen tak, aby těmto parametrům vyhověl. Pokud toto není možné z hlediska koncepce nástroje, je nutné vybrat jiný typ lisu, který by vyhověl požadovaným parametrům.

Z hlediska lisovací síly by vyhověl výstředníkový lis LEN 40 C od firmy Toma Industries s.r.o. Jmenovitá síla tohoto lisu je 400 kN. S rezervou 114,5 kN by bylo vytížení stroje 71%. Ale z důvodu větší velikosti nástroje, a tím i nutnosti větší upínací plochy stolu, byl vybrán lis větší, a to LEN 63C s lisovací silou 630 kN. Některé základní parametry tohoto lisu jsou v tab. 4.5. Katalogový list s ostatními parametry je v příloze 1.

Pro odvíjení pásu plechu bylo vybráno odvíjecí zařízení od téže firmy s typovým označením QOPJ 160/650 (obr. 36), jehož parametry jsou v příloze 3.



Obr. 35 Lis LEN 63C [20]

Tab. 4.5 Tabulka parametrů lisu LEN 63C

označení	LEN 63 C
lisovací síla	630 kN
počet zdvihů – trvalý chod	65 / 130 1/min
max. tloušťka zpracovaného plechu -trvalý chod	3,5 / 2,5 mm
max. tloušťka zpracovaného plechu -jednotlivé zdvihy	7 / - mm
výkon	3,5 / 7 kW
síťové napětí	380 V / 50 Hz
sevření	335 mm
plocha stolu	630 x 800 mm



Obr. 36 Odvíjecí zařízení QOPJ 160/650 [20]

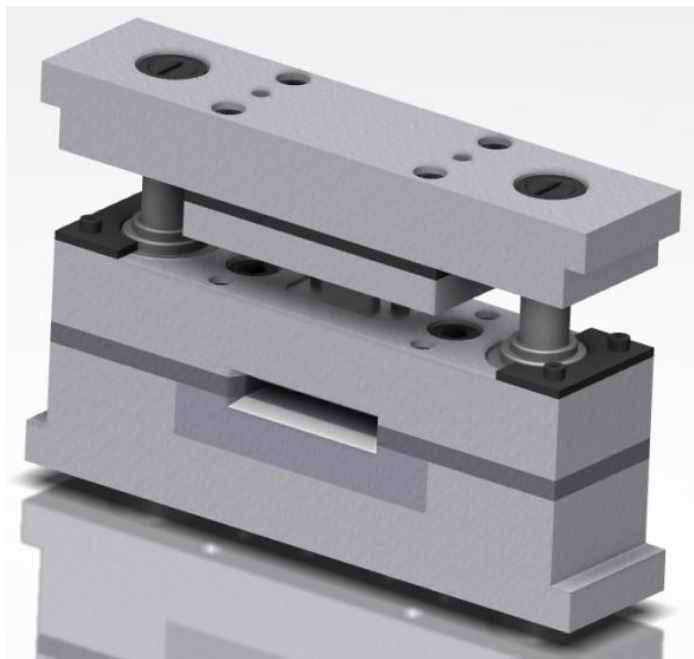
6 NÁVRH SDRUŽENÉHO MODULÁRNÍHO NÁSTROJE

Bylo potřebné navrhnout takové koncepční řešení, které by umožňovalo výrobu všech délkových variant výlisku a také snadné přestavení nástroje pro výrobu jiné délkové varianty výlisku.

Nástroj je tedy koncipován jako sdrúžený modulární, v kterém bude výlisek vyráběn v celkem pěti krocích. Pro každý jednotlivý krok je navržena sekční jednotka se samostatným sloupkovým vedením, kterou bude možné posouvat dle potřeby do jiné pozice, dle požadavku výroby jiné délkové varianty výlisku. Jednotka pro druhý krok je výměnná z důvodu ostříhování tvarové části, která má být ohnuta a která se velikostně odlišuje v závislosti na stříhané variantě výlisku. Tato jednotka bude tedy výměnná, a to pro každou délkovou variantu výlisku. Poslední jednotka, která se neposouvá a zůstává stále ve stejné pozici, sdrúžuje ohyb koncové části výlisku a stříh můstku, který drží výlisky (pás) až do této fáze.

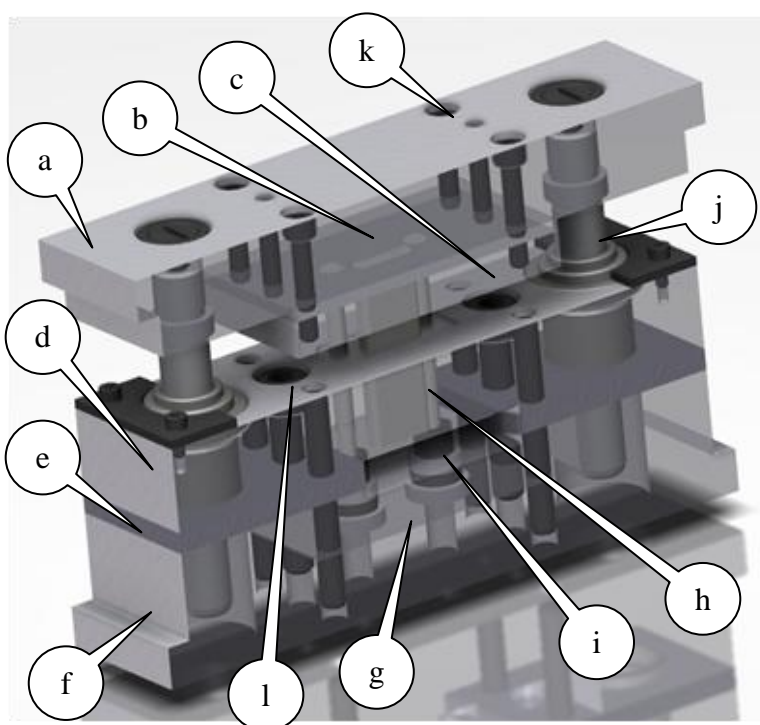
6.1 Návrh a popis sekční jednotky

Všechny sekční jednotky mají stejný koncepční základ, pouze jednotka posledního kroku, kde se provádí i ohyb součásti a přestřížení můstku, má odpruženou vodící desku, která přidržuje ohýbanou součást. Na obr. 37 je znázorněná sekční jednotka pro první krok, ve které se provádí operace stříhání děr pro hledací razníky a ražení označení varianty výlisku. Sekční jednotka je v podstatě jednoduchý malý střížný nástroj, která obsahuje všechny důležité části střížného nástroje. Každá jednotka má vlastní kuličkové vedení. Pro stříhání kruhových otvorů střížnice obsahuje kruhová střížná pouzdra, která jsou použita z důvodu častějšího broušení, a to hlavně pro otvory, které slouží pro nahledání pásu. Vodicí deska má z horní strany vybrání v prostoru střížníků, které se slouží pro lepší udržení oleje, který se používá při lisování k mazání střížníků.



Obr. 37 Sekční jednotka prvního kroku

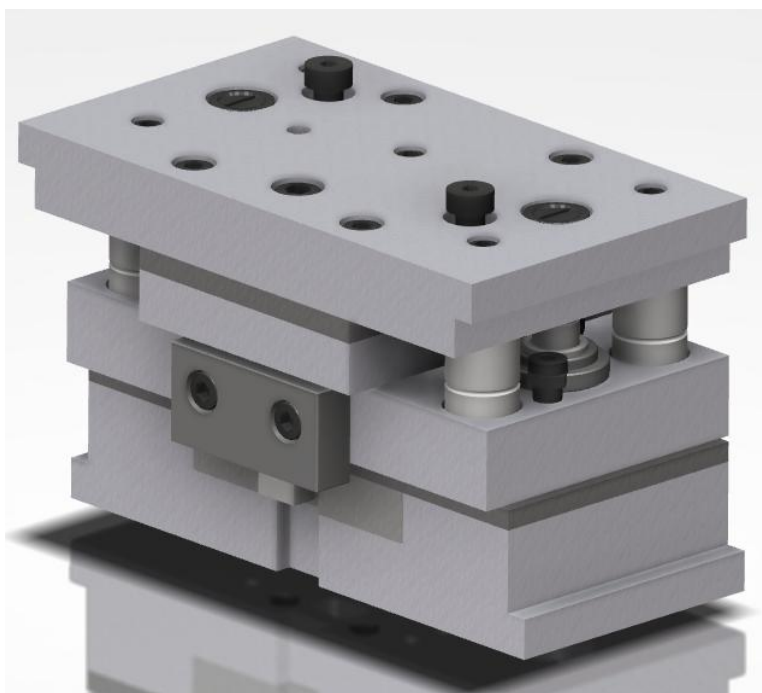
Jednotlivé prvky sekční jednotky zobrazuje obr. 38. Horní a spodní upínací deska má výstupky pro upnutí v nástroji. Vodicí lišty, vodící deska a spodní upínací deska mají úhlový náběh pro lepší zavedení pásu. Boční strany spodní upínací desky mají broušený povrch a její celkový rozměr je zhotoven s přesnou tolerancí, který zajišťuje správnou polohu každé jednotky, a tím i správnost celkových rozměrů výlisku. Střížnice je zapuštěná v základní desce a má šířku vyrobenou v minusové toleranci, aby rozměrovou polohu zabezpečovala pouze spodní upínací deska a distanční vložka, která je vložena mezi jednotlivé sekční jednotky. Střížníky jsou ukotveny v kotevní desce a opřeny o kalený opěrný plech. Spodní část jednotky (základní, střížná, vodící deska a vodící lišty) je spojena dohromady kolíky a šrouby. Toto spojení je také použito pro horní část jednotky. Kulaté střížníky jsou použity jako normalizované.



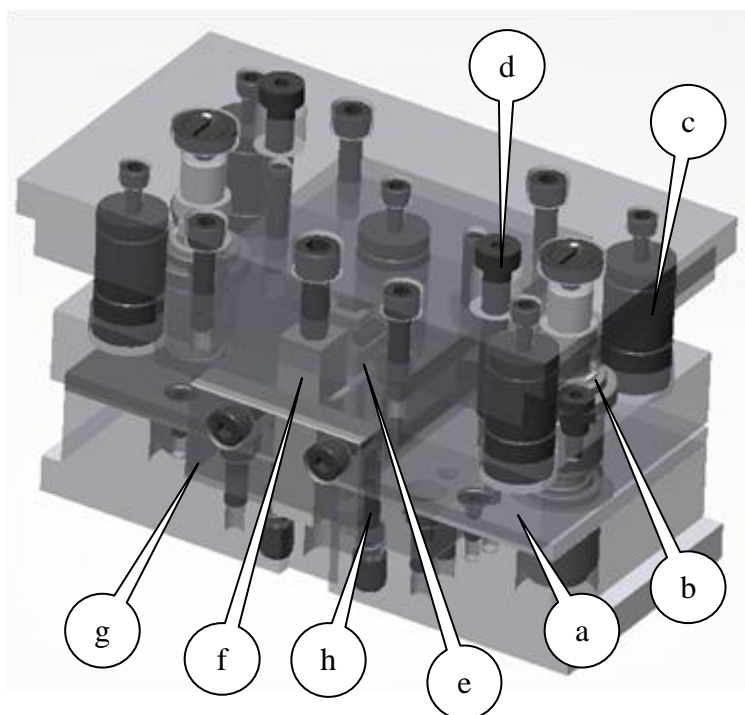
- a) Horní upínací deska,
- b) opěrný plech,
- c) kotevní deska,
- d) vodící deska,
- e) vodící lišty,
- f) základní deska,
- g) střížnice,
- h) střížníky,
- i) střížné vložky, s vymez. kroužkem,
- j) sloupkové kuličkové vedení,
- k) šrouby a kolíky pro horní část jednotky,
- l) šrouby a kolíky pro spodní část.

Obr. 38 Sekční jednotka prvního kroku – vnitřní pohled

Sekční jednotka posledního kroku, kde je prováděna operace ohýbání a odstřížení dílu, je znázorněna na obr. 39. Ohyb dílu je prováděn v koncové části této jednotky přes zaoblenou hranu ohýbací vložky, zatím co výlisek je přidržován odpruženou deskou, která je uchycena dvěma přídržnými distančními šrouby, které vymezují její zdvih. K této desce je připevněna přitlačná deska, která přidržuje výlisek během stříhání a ohýbání. Pro přitlačnou sílu je použito 5 plynových pružin. Ohybník je přidržován opěrnou destičkou, která je připevněna k odpružené desce. Odstřížení můstku je zpožděno oproti ohybu a je provedeno až v konečné fázi této operace. Následně je odstřížený výlisek vyhozen z nástroje při dalším posunu pásu. V případě potíží při vyhození výlisku z nástroje může být nástroj vybaven optickým čidlem, která signalizuje, případně zastaví lis, jestliže nedojde k vyhození výlisku z nástroje. Nástroj může být také opatřen mechanickým vyhazovacím zařízením, které vysune výlisek z nástroje. Základní prvky této jednotky zobrazuje obr. 40.



Obr. 39 Sekční jednotka posledního kroku zahrnující ohyb



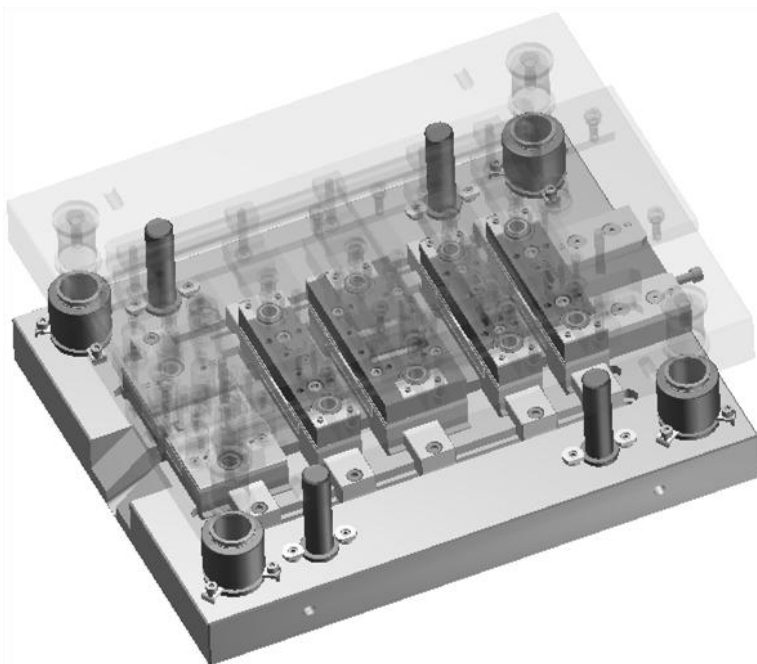
- a) Odpružená vodící deska,
- b) kuličkové vedení,
- c) plynové pružiny,
- d) přídržné šrouby odpružené desky,
- e) střížník můstku,
- f) ohybník,
- g) přídržná deska ohybníku,
- h) odpružené zvedáče výlisku.

Obr. 40 Sekční jednotka posledního kroku – vnitřní pohled

6.2 Návrh a popis zástavby sekčních jednotek

Všechny používané sekční jednotky jsou vloženy a upevněny do vodící drážky ve spodní upínací a horní (lícni) upínací desce, které mají čtyř sloupkové kuličkové vedení. Mezi základní a lícni deskou jsou upevněny výškové dorazy, které slouží k lepšímu seřízení nástroje na dolní mez zdvihu a také chrání nástroj během skladování a manipulace. Celková zástavba jednotlivých sekčních jednotek je zobrazena na obr. 41.

Poslední jednotka, kde dochází k ohybu a odstřížení součásti, zůstává stále ve stejné pozici s tím, že pro výrobu jiné varianty výlisku dochází k posuvu ostatních střížných jednotek. Mezi každou jednotku jsou vloženy přesně broušené distanční vložky, které vymezují pozici jednotlivých operací. Pro každou délkovou variantu výlisku je určená jiná sada těchto podložek. Upínací šroub na přední straně zajišťuje stažení všech jednotlivých jednotek a distančních vložek, a tím minimalizaci vůle, která by mohla vzniknout mezi jednotlivými jednotkami, a tím způsobit nepřesnosti při výrobě



Obr. 41 Celkový pohled na modulový sdružený nástroj

součástí. Každá sekční jednotka je upnuta k základní desce s použitím upínacích kamenů. Horní část jednotky k lící desce a spodní část jednotky ke spodní upínací desce. Upínací kameny se pohybují také ve vodících drážkách, aby je bylo možné posouvat se střížnou jednotkou do jiné pozice.

Na přední části spodní upínací desky jsou připevněny vodící lišty pro náběh a vedení střížného pásu. Nástroj nemá načínací doraz. První krok začíná najetím pásu plechu k zadní hraně první střížné jednotky.

Lící deska obsahuje odpružené středící elementy, které slouží pro vystředění nástroje do horizontální osy beranu lisu.

Pro manipulaci s nástrojem a horní upínací deskou při upínání horních částí střížných jednotek jsou upínací desky opatřeny závity pro manipulační šrouby.

Tato celková koncepce řešení nástroje zajišťuje možnost výroby celého požadovaného sortimentu výrobků a také poměrně krátký čas k přestavení nástroje pro výrobu jiné varianty výlisku.

6.3 Výpočet rozměrů střížníku a střížnice [5]

Pro výpočet rozměrů a tolerancí střížníků a střížnic se používá norma ČSN 22 6015. Při stanovení rozměrů střížníku a střížnice je jedna jeho část základní. Při vystřihování je to obvykle střížnice, při děrování střížník. Rozměry základní části jsou voleny dle tvaru, rozměrů a tolerancí výstřižků. Druhá část se upravuje podle základní části, upravená o střížnou vůli.

Při práci stříhadla dochází vlivem opotřebení ke změně rozměrů střížných částí. To znamená, že některé rozměry se zmenšují, jiné zvětšují, některé se nemění.

Výpočet rozměrů střížníků a střížnice [5]

Při děrování jsou rozměry otvoru závislé na skutečných rozměrech střížníku. Proto při opotřebení střížníku dochází k zmenšování děrovaného otvoru. Z tohoto důvodu se rozměr střížníku zvětšuje o podstatnou část tolerance TS s ohledem na jeho postupné opotřebování

Pro výpočet rozměrů střížníku a střížnice použijeme následující vztahy:

$$RAD = (JR + \frac{P}{2} P) - TA \text{ [mm]} \quad (6.1)$$

$$RED = (JR + \frac{P}{2} + v) + TE \text{ [mm]} \quad (6.2)$$

Kde:

RAD [mm]	– rozměr střížníku,
RED [mm]	– rozměr střížnice,
JR [mm]	– jmenovitý rozměr součásti,
P [mm]	– přípustná míra opotřebení,
TA [mm]	– výrobní tolerance střížníku,
TE [mm]	– výrobní tolerance střížnice,
v [mm]	– střížná vůle.

TA , TV a P určíme dle tabulky v příloze 3

Výpočet rozměru střížníku a střížnice pro díru o rozměru $\varnothing 5,5 \pm 0,1$ mm

$P = 0,16$ mm; $TE = 0,054$ mm; $TA = 0,035$ mm; $v = 0,22$ mm

Rozměr střížníku:

$$RAD = (5,5 + 0,08) - 0,035 = \varnothing 5,58_{-0,035} \text{ mm}$$

Rozměr střížnice:

$$RED = (5,5 + 0,08 + 0,22) + 0,054 = \varnothing 5,8^{+0,054} \text{ mm}$$

Výpočet rozměru střížníku a střížnice pro díru o rozměru $\varnothing 3,5 \pm 0,1$ mm

$$P = 0,16 \text{ mm}; TE = 0,054 \text{ mm}; TA = 0,035 \text{ mm}; v = 0,22 \text{ mm}$$

Rozměr střížníku:

$$RAD = (3,5 + 0,08) - 0,035 = \varnothing 3,58_{-0,035} \text{ mm}$$

Rozměr střížnice:

$$RED = (3,5 + 0,08 + 0,22) + 0,054 = \varnothing 3,8^{+0,054} \text{ mm}$$

Stejným postupem výpočtu se spočítají i ostatní tvarové rozměry. Avšak zadaný díl neobsahuje žádné velmi zúžené tolerance, které by bylo nutné tímto způsobem zohledňovat. V praxi se tohoto výpočtu používá pouze pro rozměry, které mají velmi úzkou toleranci. Velmi často se jedná o složité kontury součástí a bylo by časově náročné provádět výpočet pro všechny rozměry výlisku. Z těchto důvodů se rozměry se základní tolerancí vyrábějí na jmenovitou hodnotu a jedna pracovní část je pouze upravená o střížnou vůli. Také je možné posunout všechny střížné plochy o stejnou hodnotu, například o 1/3 dolní (horní) úchyly, a tím získat prostor pro zmenšování (zvětšování) rozměru z důvodu otupení razníku. Je také nutné brát v úvahu možnosti technologie výroby pracovních částí, kdy s dnešního hlediska všechny střížné vložky a tvarové razníky se vyrábějí elektroerosivním obráběním, kde se běžně dosahuje lepší toleranční přesnosti rozměrů, než doporučuje norma ČSN 22 6015.

6.4 Návrh rozměrů sdruženého nástroje [6, 22]

Pro základní návrh rozměrů střížné jednotky byla použita norma ČSN 22 6273, a to převážně pro tloušťky jednotlivých desek sekční jednotky. Některé rozměry bylo ale nutné upravit v závislosti na zvoleném konceptu nástroje.

Střížnice [6, 22]

Půdorysné rozměry, tedy délka a šířka střížnic, vycházejí ze základních rozměrů nástřihového plánu, ke kterým je nutné připočítat přídavky materiálu, aby vzdálenosti střížných otvorů od kraje střížnice byly dostatečné z důvodu možného poškození (prasknutí) střížnice. Střížnice byla zvolena v závislosti na šířce vodících lišt a byla zvolena jako celistvá (neskládaná) z důvodu menší sériovosti. Pouze pro kruhové otvory je střížnice osazena vložkami. Obvykle pro větší série je lepší vyrobít základ střížné desky z měkkého materiálu, např. 11 500 a jednotlivé střížné otvory osadit vložkami z materiálů určeného pro střížnice, např. 19 436. Tato varianta je potom ekonomicky výhodnější, protože není potřeba brousit celou plochu střížné desky. U takto malé sériovosti a také vzhledem k malým rozměrům střížných jednotek by ale tato varianta nebyla ekonomicky výhodná.

Velikost fazetky by měla být 3-4 mm z důvodu úběru materiálu při broušení střížné desky. Fazetka byla zvolena 3 mm, která bude dostatečná pro broušení střížné desky pro daný objem výroby.

Pro kontrolu (stanovení) tloušťky střížnice je použit vztah 2.6 z kapitoly 2.7. Střížná síla byla vypočtena pro jednotku druhého kroku, kde je největší plocha stříhu pro největší variantu výlisku.

$$H = \sqrt{\frac{1,5 \cdot F_s}{\sigma_{dov}}} = \sqrt{\frac{1,5 \cdot 126464}{400}} = 21,8 \text{ mm}$$

$$F_s = 1,3 \cdot 304 \cdot 320 = 126464 \text{ N}$$

σ_{dov} - zvoleno 400 MPa.

Dle tohoto kontrolního výpočtu, tloušťka střížné desky by měla být 22 mm. Navržené rozměry tloušťky střížných desek odpovídají tomuto rozměru.

Střížníky [6]

Nejčastější chybou při výrobě razníků bývá, že jsou příliš krátké. Z dlouhodobých poznatků je zjištěno, že neoptimálnější délka střížníků je asi 70 mm. Avšak střížníky dlouhé a tenké jsou nepříznivě namáhány na vzpěr, a často se lámou. Na střížníky působí mnoho různých sil, že použití teoretických vzorců nevede k dobrým výsledkům. Stačí, aby se řezná hrana trochu utupila, a síla silně vzrůstá, takže skutečné hodnoty mohou být mnohem vyšší, než teoreticky spočítané. Z těchto důvodů je dobré, aby slabé střížníky byly dobře vedené, nebo osazené na silnější průměr.

Pro nejmenší kruhový střížník o průměru 3,5 mm byl proveden kontrolní pevnostní výpočet na vzpěr. Pro výpočet kritické délky střížníku byl použit vztah 2.5 z kapitoly 2.7.

$$l_k = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_b \cdot F_s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 215000 \cdot 7,5}{1,5 \cdot 8694}} = \sqrt{4876} = 69,8 \text{ mm}$$

$$F_s = 1,3 \cdot 304 \cdot 22 = 8694 \text{ N}$$

$$I = 0,5 \cdot d^4 = 0,5 \cdot 3,5^4 = 7,5 \text{ mm}^4$$

k_b - koeficient bezpečnosti zvolen 1,5

Dle kontrolního výpočtu střížníku na vzpěr vyplývá, že kritická délka střížníku pro průměr 3,5 mm je 70 mm. Délky střížníků v navrženém nástroji mají délku 63 mm a jsou také dostatečně vedené ve vodící desce. Toto dává dostatečnou rezervu, aby bylo možné použít neosazený střížník pro průměr 3,5 mm. Kruhové střížníky jsou použity jako normalizované, a to dle normy ISO 6752. Ostatní tvarové střížníky nemají žádné velmi malé rozměry, u kterých by hrozilo jejich zlomení. Materiál těchto střížníků byla zvolena ocel 19 573. Ukotvení tvarových střížníků v kotevní desce je pomocí kalených kuliček, nebo za osazení střížníku.

Vodící prvky nástroje

Pro vedení nástroje i jednotlivých jednotek bylo použito kuličkové vedení, a to vodící sloupky dle ISO 9182 a vodící pouzdra dle ISO 9448.

6.5 Vyhodnocení návrhu sestavy střížného nástroje

Pro návrh sestavy střížného nástroje byly použity normy ČSN, informace z odborné literatury a informace z katalogů normálních výrobců KERN, FCPK a FIBRO dle ISO norem. Celková koncepce sestavy nástroje byla navržena tak, aby byly splněny požadované parametry a životnost nástroje v daném objemu výroby, a aby dané řešení bylo co neoptimálnější a po výrobní stránce ekonomicky co nevýhodnější.

7 POSOUZENÍ EKONOMICKÉ VÝHODNOSTI

Celkově je sdružený nástroj navržen tak, aby výrobní náročnost byla co nejmenší a ekonomicky nevýhodnější. Možnost nástroj provozovat bez speciálních požadavků na obsluhu a dalšího speciálního příslušenství a vybavení.

Nedílnou součástí provozu nástroje je i jeho údržba. Interval údržby (např. ostření střížníku, střížnice) je především závislé na pravidelném sledování kvality výstřižku.

Z hlediska ekonomické výhodnosti bylo provedeno porovnání s použitím technologie řezání laserem a následným ohybem. Pro tuto variantu je cena stanovena pro celkové komplexní řešení včetně ohybu od externího dodavatele, který disponuje danou technologií.

7.1 Kalkulace nákladů a určení bodu zvratu

Celkové náklady byly řešeny pouze z hlediska ceny nástroje a spotřeby materiálu. Do ceny nebyly započítány mzdy pracovníku, režijní náklady, či jiné náklady související s výrobou výlisku.

Náklady na nástroj

Cena nástroje byla stanovena na základě ceny podobných nástrojů. Konečná cena se skládá z těchto položek:

- konstrukce 140000 Kč,
- programování 40000 Kč,
- normálie 150000 Kč,
- strojní práce 490000 Kč,
- ruční práce 55000 Kč.

Celková cena nástroje byla tedy stanovena na 875000 Kč.

Náklady na materiál

Celková délka pásu:

$$L_p = P_v \cdot \frac{(K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_5)}{1000} [\text{m}]$$
$$L_p = 40000 \cdot \frac{(72,5 + 55,5 + 53,5 + 50,5 + 39,5 + 24,5)}{1000} = 11840 \text{ m}$$

Celková hmotnost spotřebovaného materiálu:

$$m_c = (0,05 \cdot 0,002 \cdot 11840) \cdot 7800 = 9235 \text{ kg}$$

Celková hmotnost odpadu:

pro výpočet hmotnosti odpadu byl použit aritmetický průměr procentuálního využití materiálu všech vyráběných variant výlisků, který je 34,8%.

$$m_o = 9235 - \frac{9235}{100} \cdot 34,8 = 6021 \text{ kg}$$

Celková cena materiálu:

cena materiálu ve svitku – 20 Kč/kg,

cena odpadu – 6 Kč/kg.

$$C_m = 20 \cdot 9235 - 6 \cdot 6021 = 148574 \text{ Kč}$$

Cena výlisku vyráběného plošným tvářením

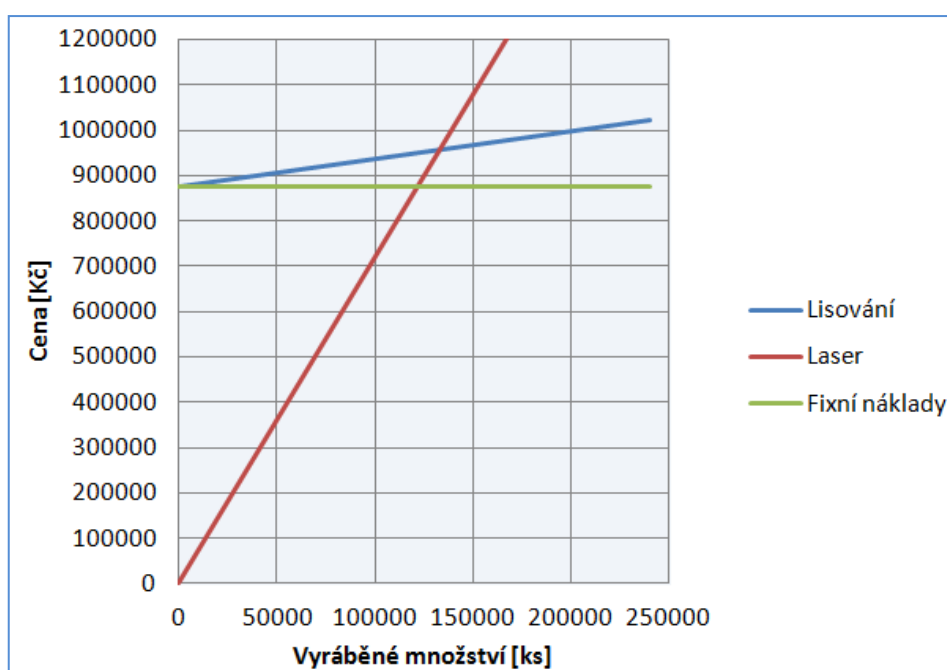
$$c_v = \frac{875000 + 148574}{40000 \cdot 6} = 4,26 \text{ Kč}$$

Cena výlisku při řezání laserem a ohyb

Cena byla stanovena na základě poptávky u firem, které tuto technologii používají. Cena zahrnuje i následný ohyb. Průměrná cena kompletního výrobku činí 7,20 Kč/kus bez DPH, a nezahrnuje další požadavky, jako např. speciální balení, povrchovou úpravu, dopravu atd.

Určení bodu zvratu

Z grafu (obr. 42) můžeme určit bod zvratu při porovnání výroby řezání laserem a následným ohybem a výrobou ve sdruženém nástroji. To znamená bod, kde se protnou jejich lineární závislosti ceny s počtem vyrobených kusů. Při fixních nákladech 875000 Kč bude bod zvratu asi při dosažení hranice asi 130 tisíc vyrobených kusů.



Obr. 42 Graf určení bodu zvratu

7.2 Posouzení ekonomické výhodnosti

Z hlediska kalkulace nákladů na výrobu držáku plošným tvářením a v porovnání s náklady při použití technologie řezání laserem, je výroba v takto koncipovaném nástroji výhodnější, a to z důvodu brzké návratnosti investic v časovém horizontu okolo sedmi měsíců. Jak již bylo zmíněno, do kalkulace nejsou započítány další cenové náklady. Jako jsou mzdy, režie nebo další nepřímé náklady, které by při jejich zohlednění posunuly dobu návratnosti investice.

Z těchto všech hledisek je výroba celého sortimentu výlisků ve sdruženém nástroji upřednostněna nad jinou technologií, například využití řezání laserem.

Samozřejmě, že také další faktory mohou ovlivnit výběr vhodné technologie. Z ekonomického hlediska to může být například celková plánovaná doba výroby výrobků.

8 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout způsob výroby celého sortimentu tvarové součásti z plechu. Materiál výlisku byl ocelový plech 11 373.1 tloušťky 2 mm.

Před výběrem nejvhodnější technologie výroby bylo posuzováno několik variant možností výroby. Vzhledem ke tvaru součásti, rozměrové a geometrické přesnosti, ale i k typové podobnosti celého sortimentu a požadované roční produkce bylo rozhodnuto vyrábět požadované součásti technologií plošného tváření (stříhání a ohýbání), a to pokud možno v jednom sdruženém nástroji.

Dále byla prověřována technologičnost zadané součásti z hlediska možnosti výroby plošným tvářením. Zadaná součást vyhověla požadavkům zvolené technologie výroby.

Po prověření technologičnosti byla provedena literární studie teoretických předpokladů použitých technologií, tedy stříhání a ohýbání. Poznatky získané z této studie byly použity pro vlastní návrh nástroje.

Při rozhodování o výběru nejvhodnější varianty postupu výroby technologií plošného tváření bylo posuzováno několik možných variant. Posuzování probíhalo z hlediska složitosti a náročnosti výroby nástroje, jeho ceny, skladování a manipulaci, počty vyráběných kusů za rok, ale i také ekonomické využití stříhaného materiálu. Na základě všech těchto posuzovaných hledisek byla vybrána jako neoptimálnější varianta sdruženého kombinovaného nástroje s podélným uspořádáním výlisků.

Na základě literární studie, teoretických předpokladů a výpočtů bylo navrženo koncepční řešení sdruženého nástroje, kde je možné vyrábět celý sortiment požadovaných výlisků.

Součástí práce je také posouzení technické a ekonomické výhodnosti v porovnání s použitím jiné technologie výroby.

Seznam použité literatury

- [1] DVOŘÁK, M. a kolektiv. *Technologie II..* 3.vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 240 s. ISBN 80-214-2683-7.
- [2] FOREJT, Milan. *Ročníkový projekt I: Tváření, svařování.* Brno: VUT Brno, 2002, 2011. SYLABUS pro studium bakalářského studijního programu „STROJÍRENSTVÍ“.
- [3] DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2. ročník* [online]. MAREČKOVÁ, Michaela. Brno: VUT Brno, 2006. Studijní opory. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/index.htm.
- [4] FOREJT, Milan: *Teorie tváření.* 2.vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 170 s. ISBN 80-214-2764-7.
- [5] ČSN 22 6015. *Lisovací nástroje: Stříhadla a střížné vřely.* Praha: Vydavatelství UNM, 1977. 28 s. EAN 8590963015323.
- [6] DOBROVOLNÝ, Bohumil. *Stříhání na lisech: Kurs techn. znalostí: Příruční učeb. texty – Svazek 70 Řada strojír. lit.* SNTL, 1964.
- [7] BEROUN, Stanislav. *Úvod do strojírenství: Technologie tváření kovů.* [online]. Technická univerzita Liberec, 2009, s. 6, 24.11.2009 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: http://www.kvm.tul.cz/studenti/texty/uvod_do_strojirenstvi/UdS-5pr.pdf
- [8] UNIVERSITÄT STUTTGART, Institut für Umformtechnik. *APMB: Scherschneiden.* [online]. s. 4, 17.10.2011 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.unistuttgart.de/ifu/lehre/downloadbereich/vorlesungsunterlagen/APMB/Scherschneiden.pdf>
- [9] TOMÁNEK, Jiří. *Výroba součástí "Táhlo zadní".* Brno, 2009. 111 s. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16252. Diplomová práce. VUT Brno, FSI, ÚST. Vedoucí práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D. Oponent práce Ing. Michaela Císařová.
- [10] SCHWEITZER, Michael. *Prozessspezifische Merkmale des Rotationsschneidens.* 1. vyd. München: Hieronymus Verlag, 2001. 162 s. ISBN 3-89791-214-7. Dissertation. TU München, Fakultät für Maschinenwesen.
- [11] KALPAKJIAN, Serop. *Manufacturing engineering and technology* [online]. 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall, c2006, 1295 s. [cit. 2012-04-17]. ISBN 01-314-8965-8. Dostupné z: http://nd.edu/~manufact/MPEM%20pdf_files/Ch07.pdf
- [12] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření.* 2. vyd. Brno: CERM, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

- [13] Technologie II.: Tváření kovů. *Technická univerzita v Liberci 2000/2001: katedra strojírenské technologie* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001, 26.11.2008 [cit. 2012-04-18].
Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
- [14] Odpružení v plošném tváření. In: TATÍČEK, František, Tomáš PILVOUSEK a Martin KUBELKA. *MM Průmyslové spektrum: Akademie tváření* [online]. 11.05.2011 [cit. 2012-04-18]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-odpruzeni-v-plosnem-tvareni.html>
- [15] Sheet Metal Forming. *Custompart.net* [online]. © 2009 [cit. 2012-04-18]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-forming>
- [16] ČSN 22 7340. *Tvářecí nástroje - ohýbadla: Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. Praha: Vydavatelství UNM, 1991. 16 s. EAN 8590963257297.
- [17] BAREŠ, Karel, et al. *Lisování*. První. Praha: SNTL, 1971. 543 s.
- [18] Technologičnost konstrukce v návrhu výstřížku. In: TATÍČEK, František, Tomáš PILVOUSEK a Martin KUBELKA. *MM Průmyslové spektrum: Akademie tváření* [online]. 19.12.2011 [cit. 2012-04-18].
Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku.html>
- [19] PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. *Úvod do tváření*. [online]. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2001, s. 115 [cit. 2012-04-18].
Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf
- [20] Tvářecí technika. *Toma Industries* [online]. Trnava: Toma Industries, © 2011 [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: <http://new.toma.sk>
- [21] Lisování kovů. *Fortell* [online]. Lanškroun: Fortell, © 2012 [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: <http://www.fortell.cz/lisovani-kovu>
- [22] ČSN 22 6272. *Lisovací nástroje: Střížné skříně*. Praha: Vydavatelství UNM, 1.4.1970, 8 s. EAN 8590963015491.
- [23] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: Návod do cvičení*. Brno: CERM Brno, 2005, 103 s. ISBN 80-214-2881-3.
- [24] Technologie vodního paprsku. FLOW INTERNATIONAL CORPORATION. *Flow* [online]. © 2011 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.flowwaterjet.com/cs-CZ/waterjet-technology.aspx>
- [25] JAROSLAV KUBÍČEK. *Technologie II.: Část svařování*. Brno: VUT Brno, 2006. Syllabus přednášek.

Seznam použitých symbolů

Symbol	Popis	Jednotka
A	střížná práce	[J]
A_{ou}	ohybová práce pro tvar U	[J]
A_{ov}	ohybová práce pro tvar V	[J]
b	šířka ohybu	[mm]
c	koeficient	[-]
c_u	součinitel, vyjadřující vliv tření s ohledem na délku ramene	[-]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
E_2	šířka můstku	[mm]
F_2	velikost okraje pásu	[mm]
F_c	celková síla	[N]
F_{oc}	celková ohýbací síla	[N]
F_{ou}	ohýbací síla tvaru U	[N]
F_{ov}	ohýbací síla tvaru V	[N]
F_p	Síly přidržovače	[N]
F_v	síla potřebná k vyrovnání výlisku	[N]
h	součinitel hospodárnosti využití materiálu	[-]
h_u	pracovní zdvih ohybu pro tvar U	[mm]
h_v	pracovní zdvih ohybu pro tvar V	[mm]
JR	jmenovitý rozměr	[mm]
I	moment setrvačnosti	[mm ⁴]
k_b	koeficient bezpečnosti	[-]
k_o	opravný součinitel na opotřebení nástroje	[-]
k	součinitel poměru R/T	[-]
K	délka kroku	[mm]
K_s	koeficient odpružení	[-]
L	délka střížné hrany	[mm]
l_k	kritická délka střížníku	[mm]
l_m	rameno ohybu	[mm]
l_n	rozvinutá délka	[mm]
l_n	rozvinutá délka oblouku v neutrální ose	[mm]
L_p	délka pásu	[mm]
l_v	vzdálenost ohýbacích hran	[mm]
L_v	rozvinutá délka výlisku	[mm]
P	přípustná míra opotřebení	[mm]
m_c	celková hmotnost materiálu	[kg]
m_o	hmotnost odpadu	[kg]
P_v	počet výstřižků	[ks]
RAD	rozměr střížníku při děrování	[mm]
RAV	rozměr střížníku při vystřihování	[mm]
RED	rozměr střížnice při děrování	[mm]
REV	rozměr střížnice při vystřihování	[mm]

R_f	ohýbaný rádius	[mm]
R_i	konečný rádius	[mm]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_{max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
R_o	vnitřní rádius ohybu	[mm]
S	střížná plocha	[mm ²]
S_o	celková plocha výstřižků	[mm ²]
S_p	plocha pásu plechu	[mm ²]
S_{vp}	vyrovnávaná plocha	[mm ²]
S_v	plocha výstřižku	[mm ²]
S_{vc}	celkové plocha výstřižku z pásu plechu	[mm ²]
\check{S}_p	šířka pásu plechu	[mm]
\check{S}_v	šířka vylisku	[mm]
t	tloušťka materiálu	[mm]
TA	výrobní tol. střížníku	[mm]
TE	výrobní tol. střížnice	[mm]
v	střížná vůle	[mm]
$V(\%)$	procentuální využití plechu	[%]
v_o	ohybová vůle	[mm]
x	hodnota součinitele x	[-]
x_T	souřadnice těžiště střížné síly v ose X	[mm]
y_T	souřadnice těžiště střížné síly v ose Y	[mm]
z	střížná mezera	[mm]
α	úhel ohýbu	[°]
α_f	úhel ohýbaný	[°]
α_i	úhel konečný	[°]
β_u	jednostranný úhel odpružení při ohybu tvaru U	[°]
β_v	jednostranný úhel odpružení při ohybu tvaru V	[°]
ε_{max}	maximální poměrné přetvoření	[mm]
λ	je součinitel plnosti v závislosti na tloušťce stříhaného materiálu	[-]
σ_k	okamžitá hodnota meze kluzu	[Nmm ⁻²]
σ_{dov}	dovolené namáhání	[MPa]
τ_s	střížný odpor materiálu	[MPa]
φ	úhel ohybu	[°]

Seznam příloh

- Příloha 1 – Katalogový lis výstředníkového lisu LEN 63C
- Příloha 2 – Technické parametry odvíjecího zařízení QOPJ 160/650
- Příloha 3 – Tabulka opotřebení a tolerance pracovních částí stříhadel
- Příloha 4 – Tabulka k určení můstek a přepážek
- Příloha 5 – Výkres vyráběné součásti (volná příloha)
- Příloha 6 – Výkres sestavy nástroje (volná příloha)
- Příloha 7 – Výkres sestavy sekční jednotky č. 1 (volná příloha)
- Příloha 8 – Výkres sestavy sekční jednotky č. 5 (volná příloha)

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1 Průběh lisování v postupovém nástroji	9
Obr. 2 Vyráběná součást	10
Obr. 3 Řezání vodním paprskem	11
Obr. 4 Řezání laserem	11
Obr. 5 Vyráběná součást	12
Obr. 7 Uzavřené stříhání a volné stříhání	13
Obr. 6 Schematický proces stříhání	13
Obr. 8 Průběh stříhání s normální střížnou vůlí	14
Obr. 9 Schéma napjatosti a přetvoření při stříhání	14
Obr. 10 Tvar a kvalita střížné plochy	15
Obr. 11 Charakteristický průběh střížného procesu a střížné síly	15
Obr. 12 Diagram závislosti součinitele plnosti	16
Obr. 13 Střížná mezera	17
Obr. 14 Nevhodné a vhodné tvary výstřížku	19
Obr. 15 Požadavky na kritické rozměry výstřížku	20
Obr. 16 Metoda volby nejvhodnějšího tvaru výstřížku	21
Obr. 17 Nástřihový plán jednoduchých obrysů součástí	21
Obr. 18 Proces ohýbání	22
Obr. 19 Neutrální osa a rozvinutá délka	22
Obr. 20 Terminologie odpružení	23
Obr. 21 Diagramy odpružení v závislosti na úhlu ohybu	23
Obr. 22 Diagram koeficientů odpružení	24
Obr. 23 Schéma odpružení ohybu V a U	24
Obr. 24 Příklady snížení nebo eliminace velikosti odpružení	25
Obr. 25 Ohyb do tvaru V a U	26
Obr. 26 Diagram součinitele c pro ohyb V	26
Obr. 27 Závislost osy ohybu a směr vláken materiálu	27
Obr. 28 Rozvinutý tvar výlisku	30
Obr. 29 Zobrazení délek l_1 a l_2	30
Obr. 30 Nástřihový plán – varianta 1	31

Obr. 31 Nástřihový plán – varianta 2	31
Obr. 32 Zvolená varianta s podélným uspořádáním (nejdelší a nejkratší varianta)	33
Obr. 33 Střížná plocha jednotlivých střížníků	34
Obr. 34 Střížná plocha jednotlivých střížníků	36
Obr. 35 Lis LEN 63C	37
Obr. 36 Odvíjecí zařízení QOPJ 160/650	37
Obr. 37 Sekční jednotka prvního kroku	38
Obr. 38 Sekční jednotka prvního kroku – vnitřní pohled	39
Obr. 39 Sekční jednotka posledního kroku zahrnující ohyb	39
Obr. 40 Sekční jednotka posledního kroku – vnitřní pohled	40
Obr. 41 Celkový pohled na modulový sdružený nástroj	40
Obr. 42 Graf určení bodu zvratu	45
Tab. 3.1 Hodnoty součinitele x	23
Tab. 3.2 Hodnoty koeficientu c_u	28
Tab. 4.1 Rozvinuté délky všech délkových variant výlisků	29
Tab. 4.2 Délky kroků pro všechny délkové varianty výlisků	30
Tab. 4.3 Počet výstřížků pro jednotlivé délkové varianty	32
Tab. 4.4 Procentuální využití plechu	33
Tab. 4.5 Tabulka parametrů lisů LEN	37

Příloha 1 – Technické parametry lisů LEN

Technické údaje/technical data/Technische Angaben		LEN 10 C	LEN 25 C	LEN 40 C	LEN 63 C	LEXN 100 C	
Menovitá síla lisu/nominal press force/Nennkraft der Presse		100	250	400	630	1000	kN
Počet zdvihů – trvalý chod P/R Number of Strokes S/F Hubzahl - Dauerbetrieb L/S		80/160	75/155	70/140	65/130	75/150	1/min
Využitelný počet jednotlivých zdvihů P/R Number of usable strokes S/F Nutzbare Anzahl der einzelnen Hube L/S		40/-	60/-	35/-	32/-	45	1/min
max. hrúbka spracovaného plechu P/R thickness of sheet S/F max. Blech Dicke L/S	trvalý chod/ividual strokes/Dauerbetrieb	1,6/1	2,5/1,6	3,2/2	3,5/2,5	4	mm
	jednotlivé zdvihy/continuous/eizelne	3,2/-	5/-	6,4/-	7/-	7	mm
maximálne odobratá práca P/R Max. extracted work S/F Max. abgenommene Arbeit L/S	jednotlivé zdvihy/continuous/eizelne Hube	130/-	630/400	1040/-	1540/-	2800/-	J
	trvalý chod/ividual strokes/Dauerbetrieb	65/50	320/200	800/425	770/700	1540/950	J
elektromotor/Electric Motor/Elektromotor	výkon/output/Leistung	1,8/3,6	2,5/5	3,5/7	3,5/7	5,6/11	KW
	otáčky/rpm/Drehzahl	700/1430	720/1430	710/1450	725/1450	725/1450	1/min.
elektrické napätie/voltage/elektrische Spannung	siet'ové/net/Netz	380 V/50 Hz				380/50	
	ovládacie/control/Steuerspannung	24 V/50 Hz				24/50	
	osvetlenie/lighting/Beleuchtung	24 V/50 Hz				24/50	V/Hz
tlakový vzduch/air pressure/Druckluft	pracovný tlak/work pressure/Arbeitsdruck	0,5 - 0,63				0,5 - 0,63	Mpa
	spotreba vzduchu/air consumption/Luftverbrauch	0,004	0,005	0,006	0,009	0,02	m ³ /zdvih stroke Hub
	prípojka vzduchu/air connector/Luftanschluss	G 1/2 "				G 1/2 "	
Parametre a rozmery/parameters and proportions/Parameter und Maße		LEN 10 C	LEN 25 C	LEN 40 C	LEN 63 C	LEXN 100 C	MJ mm
staviteľnosť zdvihu/adjustability of stroke/Hubverstellbarkeit		A	6.65	8.85	8.95	10-105	
staviteľnosť barana/adjustability of ram/Presstempelverstellbarkeit		B	45	55	60	70	
vyloženie/gar/Entladen		C	160	225	285	315	
zovretie/grip/Festklammen		E	225	265	295	335	
priebeh/pass/Arbeitsgang		F	180	250	300	355	
plocha stola/table surface/Tischfläche		320 x 450	450 x 560	530 x 660	630 x 800	640 x 1000	
plocha barana/ram		180 x 280	220 x 355	250 x 400	280 x 450	360 x 560	
hrúbka stolovej dosky/Thickness of table plate/Dicke der Tischplatte		65	65	75	85	80	



Příloha 2 – Technické parametry odvíjecího zařízení QOPJ 160/650

Technické údaje Technical data Technische Daten			QOPJ 160/650	QOPJ 250/1400	QOPD 100*
Max. šířka zvitku Max. roll width Max. Wickelsbreite		mm	160	250	100
Max. hmotnost zvitku Max. roll weight Max. Wickelgewicht		kg	650	1400	2x150
Max. vonkajší priemer zvitku Max. external diameter of roll Max. Außendurchmesser des Wickels		mm	1250	1250	1050
Max. vnútorný priemer zvitku Max. internal diameter of roll Max. Innendurchmesser des Wickels		mm	600	600	600
Min. vnútorný priemer zvitku Min. internal diameter of roll Min. Innendurchmesser des Wickels		mm	400	400	250
Rozměry stroja Machine dimensions Maschinenmaße					
	Výška High Höhe	mm	1580	1680	1383
	Šířka Width Breite	mm	1580	1590	972
	Délka Lenght Lange	mm	775	890	1167
*obojstranný odvíjáč					



Příloha 3 – Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel

Rozměry v mm

Tolerance součástky TS		Přípustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance	
od	do		Střížnice - TE	Střížníku - TA
0,020	0,025	0,020	0,007	0,004
0,025	0,030	0,025	0,008	0,005
0,030	0,035	0,030	0,009	0,006
0,035	0,040	0,035	0,011	0,008
0,040	0,045	0,040	0,013	0,009
0,045	0,050	0,045	0,016	0,011
0,050	0,060	0,050	0,019	0,013
0,060	0,070	0,060	0,022	0,015
0,070	0,080	0,070	0,025	0,018
0,080	0,090	0,080	0,029	0,020
0,090	0,100	0,090	0,032	0,023
0,100	0,120	0,100	0,036	0,025
0,120	0,140	0,110	0,036	0,025
0,140	0,160	0,120	0,040	0,027
0,160	0,180	0,140	0,043	0,030
0,180	0,200	0,160	0,054	0,035
0,200	0,220	0,170	0,063	0,040
0,220	0,240	0,180	0,072	0,046
0,240	0,260	0,200	0,081	0,052
0,260	0,280	0,220	0,089	0,057
0,280	0,300	0,230	0,089	0,057
0,300	0,320	0,250	0,100	0,062
0,320	0,350	0,270	0,100	0,062
0,350	0,370	0,290	0,120	0,074
0,370	0,400	0,310	0,120	0,074
0,400	0,430	0,330	0,140	0,087
0,430	0,460	0,350	0,140	0,087
0,460	0,500	0,360	0,160	0,100
0,500	0,530	0,410	0,160	0,100
0,530	0,560	0,430	0,160	0,100
0,560	0,600	0,460	0,190	0,120
0,600	0,650	0,500	0,190	0,120
0,650	0,700	0,540	0,220	0,140
0,700	0,750	0,580	0,220	0,140
0,750	0,800	0,620	0,250	0,160
0,800	0,900	0,680	0,250	0,160
0,900	1,000	0,760	0,290	0,185
1,000	1,200	0,880	0,320	0,210
1,200	1,400	1,000	0,360	0,230
1,400	více	1,200	0,400	0,250

Příloha 4 – Normogram k určení můstků a okrajů

